



TESIS TE142599

RANCANG BANGUN *NON FIXED BLADE ANGLE* TURBIN *SCREW* UNTUK OPTIMASI DAYA ALTERNATOR

DWI OKTAVIANTO WAHYU NUGROHO

2211204202

DOSEN PEMBIMBING

Ir. DJOKO PURWANTO M.Eng., Ph.D.

DEDET CANDRA RIAWAN ST., M.Eng., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN ELEKTRONIKA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI



TESIS TE142599

STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF NON FIXED SCREW TURBINE BLADE ANGLE

DWI OKTAVIANTO WAHYU NUGROHO

2211204202

SUPERVISORS

Ir. DJOKO PURWANTO M.Eng., Ph.D.

DEDET CANDRA RIAWAN ST., M.Eng., Ph.D.

MAGISTER PROGRAM

FIELD IN ELECTRONICS

ELECTRICAL DEPARTEMEN

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

TENTH NOVEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2016


PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tesis saya dengan judul “**STUDI KARAKTERISTIK *NON FIXED BLADE ANGLE* TURBIN *SCREW***” adalah benar – benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan – bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya dari pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Juli 2016




Dwi Oktavianto Wahyu Nugroho

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)

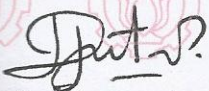
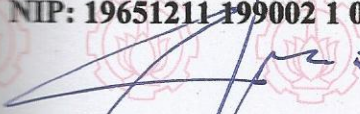

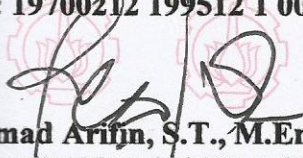


di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Dwi Oktavianto Wahyu Nugroho
Nrp. 2211204202

Tanggal Ujian : 14 Juni 2016
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:

- 
1. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D. (Pembimbing)
NIP: 19651211 199002 1 002
- 
2. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing)
NIP: 197311192000031001
- 
3. Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T. (Penguji)
NIP: 19700212 199512 1 001
- 
4. Achmad Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. (Penguji)
NIP: 19710314 199702 1 001
- 
5. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT. (Penguji)
NIP: 19690426 199403 1 003
- 
6. Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)
NIP: 19810118 200312 1 003

Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.

NIP: 19601202 198701 1 001

STUDI KARAKTERISTIK *NON FIXED BLADE ANGLE* TURBIN *SCREW*

Nama Mahasiswa : Dwi Oktavianto Wahyu Nugroho
NRP : 2211204202
Pembimbing : 1. Ir. Djoko Purwanto M.Eng., Ph.D.
2. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara dengan iklim tropis memiliki banyak potensi energi yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Pemanfaatan energi seperti yang tertuang dalam Perpres RI nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional, Indonesia memiliki sasaran mengurangi energi yang berasal dari minyak bumi yang dialihkan menjadi energi baru terbarukan. Pemerintah mulai menggalakkan penelitian tentang energi baru terbarukan dalam upayanya mendorong terwujudnya hal tersebut. Salah satu bentuk potensi energi yang digunakan dalam riset energi baru terbarukan ini adalah aliran air. Dalam dunia pembangkit energi, aliran air banyak digunakan sebagai energi listrik mikrohidro. Pembangkit listrik mikrohidro ini memiliki kelemahan, yakni diperlukannya bak tampung untuk mengontrol debit aliran dan berubahnya turbin menjadi beban bila aliran air tersebut mengecil. Kelemahan tersebut mendorong penelitian ini dilakukan, dengan harapan energi aliran air dapat diserap secara optimal untuk diubah menjadi energi listrik. Perubahan desain dari turbin *screw* dalam buku tesis ini menunjukkan bahwa upaya pemanfaatan energi aliran air dilakukan untuk mendapatkan sistem yang efektif dan efisien baik pemasangan maupun segi pemeliharaan. Perancangan dan pembuatan turbin merupakan modifikasi bentuk turbin *screw* yang ada menjadi turbin *screw* dengan sudu yang dapat berubah sudutnya. Uji sensor mendapatkan bahwa pemasangan turbin tidak begitu mengurangi nilai tekanan pada sistem karena sistem hanya mengurangi tekanan sebesar 0.0036 Bar. Diketahui pula bahwa bertambahnya sudut sudu, tekanan aliran air sesaat makin besar juga.

Kata kunci : *Potensi energi, energi baru terbarukan, aliran air, optimal, turbin screw, berubah sudutnya*

Halaman ini sengaja dikosongkan.

STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF NON FIXED SCREW TURBINE BLADE ANGLE

Student Name : Dwi Oktavianto Wahyu Nugroho
Registered Number : 2211204202
Supervisors : 1. Ir. Djoko Purwanto M.Eng., Ph.D.
2. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Indonesia as a country with a tropical climate has a lot of potential energy that can be used as a source of renewable energy. Utilization of energy as stipulated in Presidential Decree no 5 of 2006 on national energy policy, Indonesia has a target of reducing energy derived from petroleum are converted into renewable energy. The government began to promote research on new renewable energy in its efforts to encourage the realization of it. One potential forms of energy used in the research of new renewable energy is the flow of water. In the world of power generation, the water flow is widely used as an energy micro-hydro electricity. This micro-hydro schemes have drawbacks, namely the need for capacity tub to control the flow rate and the change in the turbine becomes a burden when the water flow decreases. The weakness pushed the study was conducted, with the hope of water flow energy can be absorbed optimally to be converted into electrical energy. Changes in the design of the turbine screw in the book's thesis shows that the water flow energy utilization efforts made to obtain an effective and efficient system both in terms of installation and maintenance. Design and manufacture of turbine is a modified form of the existing turbine screw into the screw turbine blades can change it's angle. Sensor test found that the installation of turbines are not so reducing the pressure value on the system because the system only reduces the pressure of 0.0036 Bar. It found that increasing the angle of the blade, the water flow pressure the greater at the moment.

Kata kunci : *Energy potential, renewable energy, water flow, screw turbine, blade change angle*

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1. 1. Latar Belakang	1
1. 2. Perumusan Masalah.....	2
1. 3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
BAB 2 DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA	5
2.1. Energi pada Aliran Fluida	5
2.2. Type Turbin.....	6
2.3. Komponen Turbin.....	8
2.3. 1. Diameter Turbin	8
2.3. 2. Penyempitan Lebar Kanal	9
2.3. 3. Sudut Sudu Turbin.....	10
2.4. Daya dan Efisiensi Turbin.....	11
2.5. Pengaruh Nilai Putar Turbin terhadap alternator.....	12
2.6. Perkembangan Turbin.....	12
BAB 3 METODE PENELITIAN	17
3. 1. Desain Penelitian.....	17
3. 2. Sistem Turbin <i>Screw</i>	21
3.2. 1. Simulasi Turbin	22
3.2. 2. Perealisasi Sistem Mekanik	28
3.2. 3. Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data Turbin <i>Screw</i>	32
3. 3. Sistem Rangkaian Kontrol.....	32
3.3. 1. Rancang Bangun Penelitian Rangkaian Kontrol.....	37
3.3. 2. Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data Rangkaian Kontrol.....	38

3.3. 3.	Rangkaian driver motor	38
3. 4.	Sistem sensor	39
3.4.1.	Rangkaian Filter Pasif RC.....	39
3.4.2.	Rangkaian Instrumentasi.....	40
3. 5.	Penggabungan Sistem.....	41
3. 6.	Instrumen Penelitian.....	41
BAB 4 PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN.....		43
4.1.	Pengujian Simulasi Sistem Turbin.....	43
4.2.	Pengujian Sistem Mekanik.....	46
4.2.1.	Performa Sudu	46
4.2.2.	Performa Sistem Gerak Perubahan Sudut.....	46
4.2.3.	Performa Wadah	46
4.2.4.	Pengujian Mekanik berdasarkan Sensor	47
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA		57
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Turbin pelton (a) turbin, (b) sistem kontrol aliran fluida, dan (c) defuser	6
Gambar 2. 2. Turbin Francis (a) turbin, (b) turbin dan alternator.	7
Gambar 2 3 Turbin Kaplan (a) turbin, (b) turbin dan alternator	7
Gambar 2 4 Gambar skematik turbin <i>screw</i>	8
Gambar 2 5 Ilustrasi penyempitan kanal.....	9
Gambar 2.6. Skematik perhitungan sudut sudu pada bagian sudu turbin.	9
Gambar 2.7. Pengaruh sudut sudu dan kecepatan aliran angin terhadap frekuensi yang dihasilkan oleh alternator.....	11
Gambar 2 8. (a) Penggambaran penempatan turbin, (b) penggambaran permukaan inlet, (c) penggambaran permukaan sudu turbin, (d) potongan gambar penempatan rotor.....	13
Gambar 2 9. (a) Nilai koefisien daya (C_p) terhadap Tip Speed Ratio (TSR) dan (b) Nilai koefisien dorong (C_T) terhadap TSR.....	13
Gambar 2 10 Peringkat korelasi koefisien dari 500 pasang instalasi angin dari NREL <i>Eastern Dataset</i> menggunakan A) rata-rata harian, B) rata-rata jam, dan C) sampel 10 menit.	16
Gambar 3. 1 Bagan alur penelitian.	18
Gambar 3. 2 Diagram blok sistem keseluruhan.....	18
Gambar 3. 3 Gambar keseluruhan sistem turbin schrew	19
Gambar 3. 4 Flow chart alur rancang bangun turbin <i>screw</i>	20
Gambar 3. 5 Sistem Penempatan komponen turbin.....	20
Gambar 3. 6 Desain alternator yang digunakan tampak depan.	21
Gambar 3. 7 Desain alternator.....	21
Gambar 3. 8 Sistem pengubahan besar sudut sudu dengan memperpendek dan memperpanjang jarak titik A dan B.....	23
Gambar 3. 9 Pengubahan sudut sudu melalui pengubahan jarak.	23
Gambar 3. 10 Ilustrasi energi kinetik dan momentum yang terjadi pada sistem turbin.	24
Gambar 3. 11 Diagram Simulasi Turbin.	28

Gambar 3. 12 Turbin <i>screw</i> dengan pipa yang dipilin.....	29
Gambar 3. 13 Turbin <i>screw</i> dengan lengan gunting	29
Gambar 3. 14 Turbin <i>screw</i> dengan bahan resin	29
Gambar 3. 15 (a) motor dikopling langsung dengan stut as, (b) motor dikopling dengan poros putar, dan (c) motor dikopling dengan gear set.	30
Gambar 3. 16 Perkembangan Desain Wadah (a) Wadah desain pertama, (b) Wadah desain kedua, (c) Wadah desain ketiga, (d) Wadah desain keempat, dan (e) Wadah desain kelima.....	31
Gambar 3. 17 Flow chart alur rancang bangun rangkaian kontrol.	33
Gambar 3. 18 Sistem kontrol sudut sudu turbin.	33
Gambar 3. 19 Sistem Kontrol Turbin <i>screw</i>	33
Gambar 3. 20 Gambar luas penampang sudu	37
Gambar 3. 21 Gambar rangkaian <i>driver</i> motor, sebagai antar muka <i>actuator</i> pengubah sudut sudu.....	39
Gambar 3. 22 Gambar Rangkaian Pasif Filter RC.....	40
Gambar 3. 23 Gambar Rangkaian Instrumentasi menggunakan TL084P.....	40
Gambar 3. 24 Gambar Rangkaian Instrumentasi menggunakan TL084P.....	40
Gambar 4. 1 Gambar hasil simulasi sudut tetap dengan tekanan yang berubah dari 0 -1 bar	43
Gambar 4. 2 Gambar hasil simulasi sudut antara 30° sampai 60° dengan tekanan tetap 1 bar, 0,5 bar dan 0,3 bar.	44
Gambar 4. 3. Keluaran sensor di posisi sebelum penempatan turbin.	48
Gambar 4. 4. Keluaran sensor di posisi setelah penempatan turbin.	48
Gambar 4. 5. Keluaran sensor di posisi sebelum penempatan turbin.	48
Gambar 4. 6. Keluaran sensor di posisi setelah penempatan turbin.	48
Gambar 4. 7. Keluaran sensor di posisi setelah penempatan turbin.	49
Gambar 4. 8. Keluaran sensor di posisi setelah penempatan turbin.	49
Gambar 4. 9 Hasil keluaran sensor flow.	50
Gambar 4. 10. Hasil keluaran sensor tekanan.	50
Gambar 4. 11. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan.	50
Gambar 4. 12 Hasil keluaran sensor flow.	50
Gambar 4. 13. Hasil keluaran sensor tekanan.	50

Gambar 4. 14. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan.	50
Gambar 4. 15. Hasil keluaran sensor flow.	51
Gambar 4. 16. Hasil keluaran sensor flow.	51
Gambar 4. 17. Hasil keluaran sensor tekanan.	51
Gambar 4. 18. Hasil keluaran sensor tekanan.	51
Gambar 4. 19. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan.	51
Gambar 4. 20. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan.	51
Gambar 4. 21. Hasil keluaran sensor flow.	52
Gambar 4. 22. Hasil keluaran sensor flow.	52
Gambar 4. 23. Hasil keluaran sensor tekanan.	52
Gambar 4. 24. Hasil keluaran sensor tekanan.	52
Gambar 4. 25. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan.	53
Gambar 4. 26. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan.	53

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Panjang minimum dan maksimum atas turbin yang direncanakan	35
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Sudu	45
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Sistem Gerak untuk Perubahan Sudut.....	46
Tabel 4.3. Perkembangan dan Kelemahan Desain Turbin	47

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 1

PENDAHULUAN

Turbin dan alternator sebagai pengubah energi yang ada di alam menjadi energi listrik memiliki peranan yang penting dalam proses pembangkitan energi listrik. Namun diantara keduanya turbin memiliki peranan yang sangat penting, karena turbin bertindak untuk mengkonversi energi yang ada di alam menjadi energi putar untuk menggerakkan alternator. Turbin saat ini jauh berbeda dengan turbin konvensional, dimana turbin dibuat tidak bergantung pada bangunan - bangunan sipil sebagai penyangganya seperti dam, reservoir, dan sebagainya. Dengan demikian, dengan memaksimalkan kemampuan turbin, diharapkan mampu mengoptimalkan daya yang dikeluarkan oleh alternator, yang mengkonversi energi putar yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. Pemikiran tersebut yang kemudian mendasari penelitian ini dalam pemanfaatan energi yang ada di alam menjadi energi listrik dengan latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian yang dijabarkan dalam poin selanjutnya.

1. 1. Latar Belakang

Perpres No 5 tahun 2006 menyatakan bahwa tahun 2025 pemanfaatan energi yang berasal dari minyak bumi dikurangi menjadi kurang dari 20% dan dialihkan dengan meningkatkan pemanfaatan energi yang lain, yakni gas bumi sebesar lebih dari 30%, batubara lebih dari 33%, bahan bakar nabati (biofuel) lebih dari 5%, panas bumi lebih dari 5%, energi baru dan terbarukan lainnya (biomassa, nuklir, tenaga air, tenaga surya, dan tenaga angin) lebih dari 5% dan batubara yang dicairkan lebih dari 2%. Energi baru dan terbarukan ditingkatkan persentasenya salah satunya dengan cara memanfaatkan tenaga air di Indonesia. Pembangkit listrik mikrohidro mulai digalakkan oleh pemerintah sebagai salah satu cara memanfaatkan tenaga air. Berbagai jenis turbin yang telah dikembangkan untuk pembangkit listrik mikrohidro, salah satunya adalah turbin *screw*.

Turbin *screw* merupakan jenis turbin helical yang berbentuk ulir. Turbin *screw* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan jenis turbin yang lain, antara lain :

1. Tidak memerlukan sistem kontrol khusus
2. Memiliki efisiensi yang tinggi
3. Mudah diperbaiki
4. Ramah lingkungan
5. Umur turbin 25 - 40 tahun (Havendri,2009).

. Namun saat ini turbin *screw* dirancang untuk kondisi tertentu, yakni dengan sudut tertentu untuk menghasilkan nilai putaran atas tekanan tertentu yang dikenakan. Dengan demikian saat tekanan yang diterima oleh turbin melebihi toleransi, maka kecepatan putar yang dihasilkan oleh turbin lebih besar, sehingga alternator menghasilkan frekuensi dan tegangan induksi lebih tinggi dari yang diharapkan. Demikian pula sebaliknya, saat tekanan yang diterima oleh turbin lebih kecil dari yang diharapkan, maka akan menyebabkan alternator menghasilkan frekuensi dan tegangan induksi yang lebih rendah dari yang diharapkan. Oleh sebab itu diperlukan sebuah turbin yang mampu beradaptasi terhadap perubahan tekanan yang ada supaya dapat menghasilkan listrik yang relatif stabil. Salah satu caranya yakni dengan membuat sudu dari turbin *screw* tersebut agar dapat berubah sudut berdasarkan tekanan yang diterimanya.

1. 2. Perumusan Masalah

Kelemahan pada sistem turbin yang telah disebutkan sebelumnya menimbulkan beberapa permasalahan yang perlu diperhatikan. Pada perancangan dan pembuatan turbin ini terdapat beberapa permasalahan yang menjadi pokok perhatian, antara lain :

1. Bagaimanakah menghasilkan turbin yang mampu beradaptasi dengan tekanan dan kecepatan pada sistem.
2. Bagaimanakah agar turbin yang dirancang bisa kedap terhadap air.
3. Seberapakah besar nilai hambatan laju air (*head loss*) yang diakibatkan oleh pemasangan turbin.

1. 3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian dengan judul “Rancang Bangun *Non Fixed Blade Angle* Turbin Screw Untuk Optimasi Daya Alternator” memiliki beberapa tujuan dan manfaat yang dicapai. Tujuan Penelitian yang dilakukan ini meliputi:

1. Merancang desain turbin yang mampu beradaptasi dengan tekanan dan kecepatan pada sistem.
2. Merancang turbin yang langsung mengkonversikan energi kinetik menjadi energi listrik.
3. Mengetahui nilai *head loss* akibat pemasangan turbin.

Dengan tujuan penelitian tersebut, maka diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat menghasilkan desain turbin baru yang lebih fleksibel terhadap perubahan tekanan sehingga mampu menjadi pembangkit energi listrik alternatif yang dapat diterapkan pada sumber energi kinetik aliran air.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 2

DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

Pada proses rancang bangun turbin screw, mempertimbangkan beberapa hal yang menjadi dasar dalam pengerjaan, yakni energi yang terkandung dalam aliran fluida, komponen turbin, daya dan efisiensi turbin, pengaruh nilai putar turbin terhadap kinerja alternator.

2.1. Energi pada Aliran Fluida

Sebuah sistem akan memiliki energi, bila sistem tersebut memiliki kemampuan untuk melakukan usaha. Dengan demikian besarnya energi tersebut akan bergantung pada besarnya sistem dalam melakukan usaha. Namun saat sebuah energi terbentuk, maka energi tersebut tidak dapat dimusnahkan, tetapi energi tersebut dapat dikonversi menjadi bentuk energi yang lain. Terdapat berbagai bentuk energi yang ada di alam, yakni energi kinetik, energi potensial, energi nuklir, energi listrik, dan lain sebagainya.

Pada fluida yang mengalir terdapat beberapa bentuk energi, yakni antara lain :

- Energi Kinetik

Energi ini terbentuk karena gerakan dari fluida, dimana besarnya energi ini dapat diukur dari massa fluida tersebut dan kecepatan dari fluida tersebut saat bergerak yang dapat dijabarkan dalam Persamaan 2.1,

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.1)$$

dimana E_k adalah besarnya energi kinetik yang ditimbulkan (J), m adalah massa fluida (kg), dan v adalah kecepatan aliran fluida (m/s).

- Energi Potensial

Sebuah energi potensial terbentuk karena kedudukan dari benda, dimana dalam hal ini benda tersebut adalah fluida. Besarnya energi ini sangat bergantung pada massa fluida dan ketinggian fluida dari titik referensinya, yang dijabarkan dalam Persamaan 2.2,

$$E_p = mgh \quad (2.2)$$

dimana E_p adalah besarnya energi potensial yang dibentuk (J), m adalah massa fluida (kg), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), dan h adalah ketinggian posisi fluida dari referensi (m).

- Energi Tekanan fluida

Energi tekanan ini timbul atas sejumlah volume fluida yang mengalir terhalangi oleh suatu bidang, yang terjabarkan dalam Persamaan 2.3,

$$E_p = PV \quad (2.3)$$

dimana E_p adalah besarnya energi tekanan yang dibentuk (J), P adalah tekanan fluida (atm), dan V adalah volume fluida (m^3).

Dengan mengumpamakan sejumlah volume fluida tersebut dengan massa fluida yang terhalangi dan massa jenis fluida maka Persamaan 2.3 dapat dituliskan kembali menjadi Persamaan 2.4,

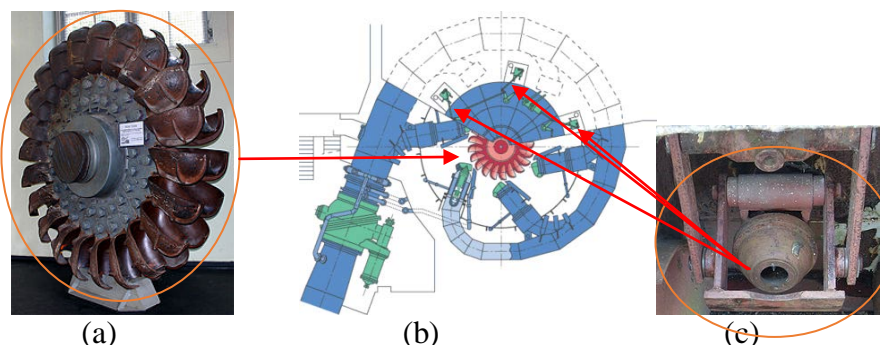
$$E_p = m \frac{P}{\rho} \quad (2.4)$$

dimana E_p adalah besarnya energi tekanan yang dibentuk (J), m adalah massa fluida (kg), P adalah tekanan fluida (atm), dan ρ adalah massa jenis fluida (kg/m^3).

Ketiga jenis energi inilah yang kemudian dipakai oleh turbin untuk dikonversi menjadi energi putar untuk memutar alternator.

2.2. Type Turbin

Terdapat dua jenis turbin yang umum diterapkan dalam sistem penghasil tenaga listrik, yakni turbin impuls dan turbin reaksi. Perbedaan utama dalam dua jenis turbin ini adalah, turbin impuls memanfaatkan energi aliran yang lebih tinggi (cepat) dari turbin reaksi. Umumnya jenis turbin impuls yang



Gambar 2. 1. Turbin pelton (a) turbin, (b) sistem kontrol aliran fluida, dan (c) defuser .

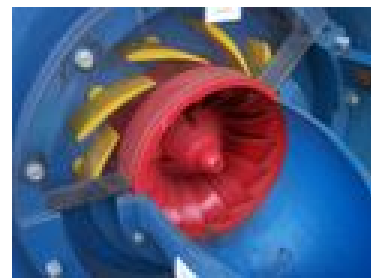
digunakan dalam mikro-hidro adalah jenis pelton. Turbin pelton berbentuk seperti mangkuk yang disusun memutar yang ditempatkan dalam media dimana kecepatan air dikontrol melalui defuser seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.1.

Untuk turbin reaksi biasanya digunakan pada *head* yang rendah di bawah 30 meter. Jenis turbin yang digunakan dalam mikro – hidro antara lain adalah tipe Francis dan Kaplan. Untuk turbin tipe Francis, turbin dibuat dari kisi – kisi yang dipasang secara memutar, sedang tipe Kaplan dibuat mirip seperti baling – baling kapal laut seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.

Kelemahan ketiga tipe turbin tersebut adalah ukuran yang besar dan memerlukan kontrol khusus untuk aliran air untuk disesuaikan dengan turbin.



(a)



(b)

Gambar 2. 2. Turbin Francis (a) turbin, (b) turbin dan alternator.

(<http://en.wikipedia.org>, 2016).



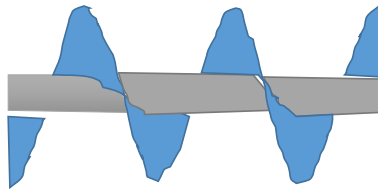
(a)



(b)

Gambar 2 3 Turbin Kaplan (a) turbin, (b) turbin dan alternator

(<http://en.wikipedia.org>, 2016).



Gambar 2 4 Gambar skematik turbin *screw*.

2.3. Komponen Turbin

Turbin *screw* yang ada saat ini berbentuk seperti sudu yang berulir seperti Gambar 2.4. Dimana dalam pembuatan turbin *screw* tersebut mempertimbangkan diameter turbin dan sudut guna mendapatkan daya yang optimal dari aliran fluida yang digunakan.

2.3. 1. Diameter Turbin

Perhitungan diameter turbin ini dilakukan pertama- tama dengan menghitung kecepatan aliran fluida, dimana menurut persamaan Manning kecepatan aliran fluida dirumuskan dalam Persamaan 2.7,

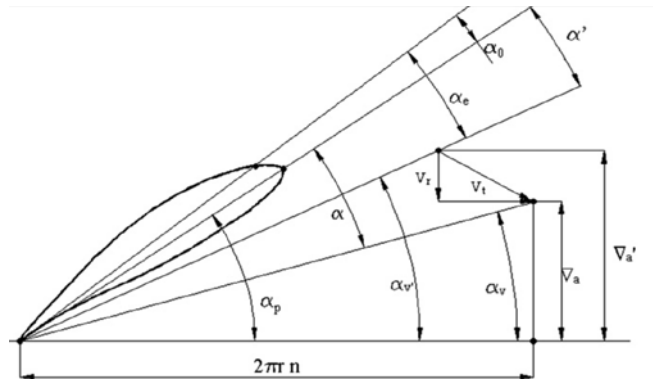
$$v = \left(\frac{1}{n} \right) m^{\frac{2}{3}} \sqrt{i} \quad (2.7)$$

dimana v adalah kecepatan (m/s), n adalah konstanta kekasaran Manning, m adalah kedalaman rata rata hidrolik (m), dan i adalah kemiringan garis energi.

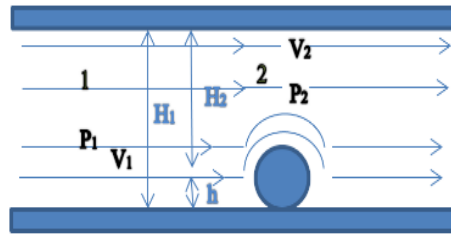
Mengingat debit merupakan perkalian kecepatan terhadap luas penampang ($Q = v A$), maka Persamaan 2.7 dapat ditulis menjadi Persamaan 2.8,

$$Q = \left(\frac{1}{n} \right) m^{\frac{2}{3}} \sqrt{i} A \quad (2.8)$$

dimana Q adalah debit fluida (m³/s) dan A adalah luas penampang fluida (m²).



Gambar 2.6. Skematik perhitungan sudut sudu pada bagian sudu turbin.
(Liu, 2010).



Gambar 2 5 Ilustrasi penyempitan kanal.

(Mustain, 2011).

Dari Persamaan 2.8 dengan mempertimbangkan luas penampang yang digunakan akan didapatkan nilai D (diameter) dapat diketahui nilai jari2 sudu turbin yang dibutuhkan (Havendri, 2009).

2.3. 2. Penyempitan Lebar Kanal

Penempatan turbin di dalam pipa, menyebabkan dimensi pipa mengalami perubahan. Besar perubahan lebar pipa ini digambarkan dalam Gambar 2.6. Dalam penggambaran tersebut dengan menempatkan turbin di dalam pipa maka akan memperngaruhi besar tekanan dan kecepatan dalam pipa sesuai hokum bernaouli dalam persamaan 2.9. Dengan P_1 dan v_1 merupakan tekanan dan kecepatan aliran di titik 1, serta P_2 dan v_2 merupakan tekanan dan kecepatan aliran di titik 2.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2}$$

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \quad (2.9)$$

dimana P_1 adalah tekanan fluida pada titik 1 (atm), P_2 adalah tekanan fluida pada titik 2 (atm), v_1 adalah kecepatan alirann air pada titik 1 (m/s), v_2 adalah kecepatan aliran air pada titik 2 (m/s), ρ adalah massa jenis air (kg/m^3).

2.3. 3. Sudut Sudu Turbin

Suatu sudut sudu dihitung dengan mempertimbangkan kecepatan aliran fluida serta titik tertinggi dimana turbin tersebut dihantam. Seperti yang dikemukakan oleh Pengfei Liu dalam jurnalnya “A computational hydrodynamics method for horizontal axis turbine – Panel method modeling migration from propulsion to turbine energy”. Dalam jurnalnya dengan ilustrasi dalam Gambar 2.5 disebutkan bahwa bila diandaikan sudut yang terkena tumbukan aliran air (*pitch*) adalah α_p dan sudut yang karena kelengkungan bentuk sudu, dimana tidak terdapat gaya angkat, diandaikan sebagai α_0 , dengan sudut kecepatan induksi aliran (α_v), maka sudut efektif (α_e) atas tumbukan aliran air terhadap sudu sebesar $\alpha_e = \alpha_v - (\alpha_p + \alpha_0)$. Karena kecepatan induksi ($\vec{V_a}$) merupakan penjumlahan vektor atas $\vec{V_a} + \vec{V_t} + \vec{V_r}$, maka dengan mengabaikan kecepatan tangensial ($\vec{V_t}$), dan kecepatan radial ($\vec{V_r}$), kecepatan induksi ($\vec{V_a}$) sama dengan kecepatan aliran air ($\vec{V_a}$). Dengan mengabaikan sudut nol (α_0), maka sudut efektif yang dibentuk adalah α . Bila pengabaian kecepatan induksi dan pengabaian sudut nol dirumus maka akan sama dengan Persamaan 2.9,

$$\alpha = \alpha_v - \alpha_p$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{v_a}{2\pi r n} - \tan^{-1} \frac{np}{2\pi r n}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{JnD}{2\pi r n} - \tan^{-1} \frac{p \frac{D}{2\pi r}}{D}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{J}{\pi \frac{r}{R}} - \tan^{-1} \frac{\frac{p}{D}}{\pi \frac{r}{R}} \quad (2.10)$$

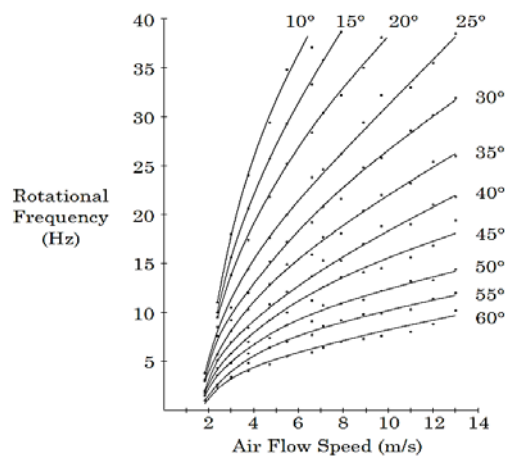
dimana α adalah sudut hantam (*degree*), v_a adalah kecepatan laju turbin (m/s), n adalah kecepatan rotasi poros turbin (*revolution per second*), r adalah jari-jari pisau turbin ($0,7 R$) (cm), p adalah nilai hantam absolut tertinggi pada jari-jari r (cm), J adalah koefisien laju batang, dan D adalah diameter turbin ($2R$) (cm) (<http://en.wikipedia.org>, 2016).

2.4. Daya dan Efisiensi Turbin

Daya yang dihasilkan oleh suatu turbin dapat didefinisikan sebagai usaha per satuan waktu (detik) yang dilakukan oleh fluida bermassa m (Kg) akibat energi potensial yang dialaminya, yang dapat dirumuskan dalam Persamaan 2.11,

$$P = \rho h H \eta \quad (2.11)$$

dimana P adalah daya (Watt), ρ adalah massa jenis fluida (kg/m^3), g adalah percepatan gravitasi (m/s^2), H adalah ketinggian (m), dan η adalah efisiensi (%) (Vicuso, 2011).



Gambar 2.7. Pengaruh sudut sudu dan kecepatan aliran angin terhadap frekuensi yang dihasilkan oleh alternator.

(Viscuso , 2011)

2.5. Pengaruh Nilai Putar Turbin terhadap alternator

Sebuah turbin dirancang dengan sudut tertentu untuk menghasilkan nilai kecepatan putar yang diinginkan untuk memutar alternator, sehingga alternator dapat menghasilkan nilai frekuensi putar yang diharapkan, seperti yang dirumuskan dalam Persamaan 2.13 dan digambarkan dalam Gambar 2.6,

$$f(\text{Hz}) = \frac{v_a(\text{rpm})}{120} n \quad (2.13)$$

dimana f adalah frekuensi AC yang dibangkitkan alternator (Hz), v_a adalah kecepatan angular (rpm), dan n adalah jumlah kutub yang digunakan.

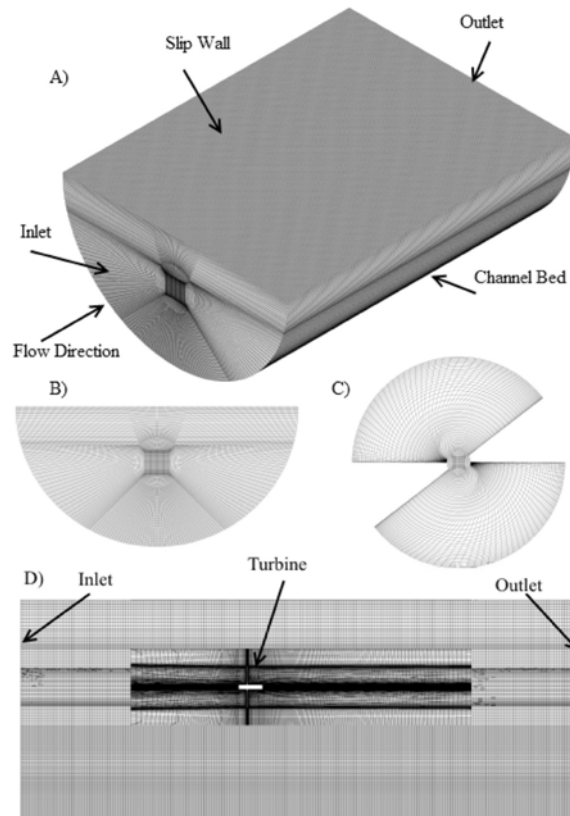
Selain itu putaran yang dihasilkan oleh turbin juga dapat mempengaruhi nilai tegangan induksi yang dihasilkan oleh alternator, sesuai dengan perhitungan pada Persamaan 2.14,

$$E_a = cn\phi \quad (2.14)$$

dimana E_a adalah tegangan induksi (Volt), c adalah konstanta mesin, n adalah kecepatan putar (rpm), dan ϕ adalah fluks yang dihasilkan oleh magnet (Tesla).

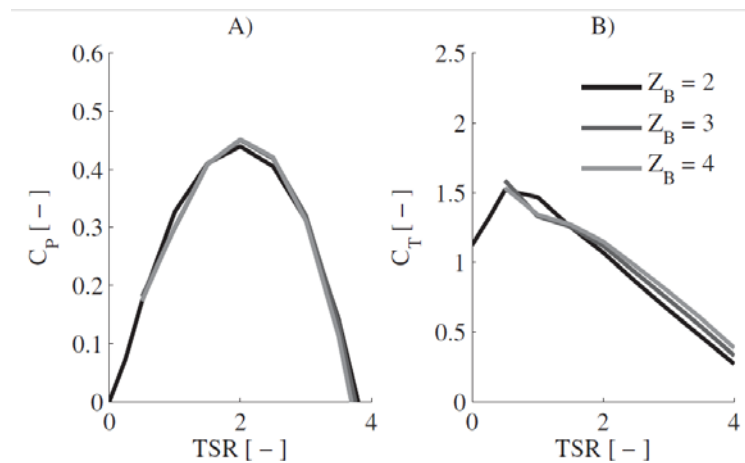
2.6. Perkembangan Turbin

Pengoptimasian daya pada dunia pembangkit saat ini, ditujukan untuk mengurangi kebutuhan akan bangunan sipil baik itu waduk atau infrastruktur lainnya. Hydrokinetic turbine banyak dipakai oleh peneliti untuk mengekstrak energi dari arus sungai dan ombak sebagai upaya pengoptimasian daya. Hydrokinetic energy lebih dapat diperkirakan, karena dipengaruhi oleh gravitasi bukan cuaca, dan lebih kepadatan energi yang lebih besar dibandingkan dengan energi angin dan solar (Shahsavarifard, 2015). Teknologi hydrokinitic mencakup baik sumbu vertical dan horizontal dari sistem turbin untuk memutar hydrofoil. Mesin ini memiliki kesamaan bahwa mesin ini bergantung pada prinsip prinsip hidrodinamik untuk mengubah air yang mengalir menjadi energi rotasi mekanik yang kemudian memutar sebuah generator listrik. Teknologi ini masih belum sematang system hydropower konvensional (Ravens, 2012).



Gambar 2.8. (a) Penggambaran penempatan turbin, (b) penggambaran permukaan inlet, (c) penggambaran permukaan sudu turbin, (d) potongan gambar penempatan rotor.

(Schleicher, 2015).



Gambar 2.9. (a) Nilai koefisien daya (C_p) terhadap Tip Speed Ratio (TSR) dan (b) Nilai koefisien dorong (C_T) terhadap TSR

(Schleicher, 2015).

Hydrokinetic turbine yang dikembangkan oleh Schleicher ini dirancang untuk sistem portable dengan pengaturan sudut dilakukan dengan mengatur diameter ujung inlet dan ujung outlet dari sistem seperti yang tergambar dalam Gambar 2.8. Hasil yang didapatkan oleh Schleicher menggunakan metode Grid Convergence Index (GCI), titik efisiensi terbaik dari desain yang ditawarkan pada kecepatan 2.25 m/s dengan rata rata rotasi sebesar 150 rpm seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.9.

Selain digunakan untuk memanfaatkan aliran air, turbin schrew juga digunakan oleh para pakar turbin untuk memanfaatkan aliran mampat, yakni udara seeprti yang diungkapkan oleh Louie. Studi tentang korelasi tenaga angin dan kecepatan angin di instalasi angin selama dua puluh tahun terakhir telah menghasilkan beberapa wawasan penting dengan relevansi operasi sistem tenaga dan perencanaan. Terutama di antara temuan ini adalah memahami bagaimana keragaman geografis yang mempengaruhi ketidakpastian tenaga angin dan variabilitasnya. Seperti jarak dan variasi dalam medan di antara instalasi angin menjadi meningkat, terdapat hubungan bertentangan dalam korelasi kecepatan angin sesaat, tenaga angin dan gradiennya. Pengetahuan ini telah menyebabkan rekomendasi untuk memperbesar area *balancing*, dan untuk membangun jalur transmisi ke lokasi yang beragam.

Meskipun kemajuan besar telah dibuat dalam memahami karakteristik korelasi umum dari kecepatan angin atau tenaga angin, kebutuhan untuk lebih mengembangkan dan menyempurnakan model berlanjut, didorong oleh peningkatan kehadiran variabel stokastik dalam sistem daya. Sekarang diketahui bahwa ketergantungan sumber tenaga angin harus terwakili dalam model apapun. Selain itu, tidak hanya harus ketergantungan yang dimodelkan, tetapi juga struktur ketergantungan, seperti yang dijelaskan oleh fungsi distribusi gabungan bivariasi.

Teori Copula diterapkan untuk kecepatan angin dan tenaga angin sebagai cara struktur pemodelan ketergantungan dengan pengetahuan eksplisit dari fungsi distribusi gabungan. Untuk melakukan hal ini, pengguna harus menentukan fungsi Copula, termasuk parameter apapun. Setelah Copula telah

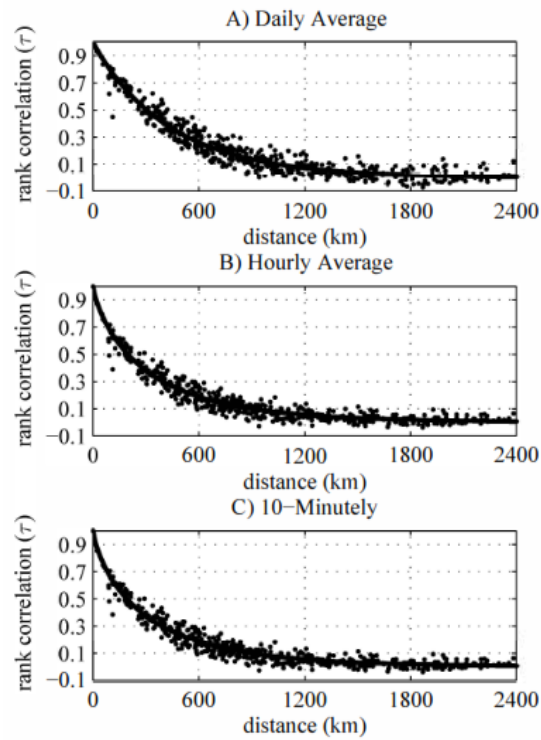
dihasilkan, kecepatan angin atau tenaga angin dapat dibuat melalui inversi dari fungsi distribusi marginal yang sesuai, seperti Weibull atau Beta.

Paper ini membahas pertanyaan-pertanyaan penelitian terbuka dimana fungsi Copula seharusnya dipilih untuk memodelkan ketergantungan kecepatan angin, dan bagaimana parameter mereka harus ditentukan. Secara khusus, lima parameter tunggal Archimedean copulas dievaluasi. Dikatakan bahwa parameter dari Copula yang dipilih sedemikian sehingga korelasi kedudukan yang diinginkan diperoleh. Sebuah model yang menghubungkan tanaman angin pemisahan jarak ke kedudukan koefisien korelasi dikembangkan untuk memfasilitasi pilihan koefisien yang memungkinkan. Evaluasi kecocokan dari Copula dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif, berdasarkan data dari *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) Dataset Integrasi Angin Timur.

Copula dievaluasi oleh kemampuannya untuk menyesuaikan data kecepatan angin yang sesuai dengan 500 pasang instalasi angin. Gambar 2.10 menunjukkan korelasi peringkat yang dihitung untuk 500 pasang instalasi angin yang dipilih, diplot terhadap jarak pemisahannya. Plot atas dan tengah menunjukkan korelasi koefisien yang sesuai dengan rata-rata harian dari data 10 menit, sedangkan plot bawah menunjukkan korelasi koefisien yang dihitung dalam 10 menit data acak. Hal ini jelas bahwa, seperti korelasi linier, peringkat korelasi menurun sebagai pemisahan bertingkat, dan umumnya tidak selalu positif.

Struktur ketergantungan variabel stokastik seperti kecepatan angin atau tenaga angin dapat dimodelkan menggunakan copula. Namun, keputusan penting harus dibuat tentang fungsi copula yang digunakan, serta parameter yang seharusnya. Paper ini mengevaluasi kelayakan dari lima fungsi Copula Archimedean parametrik umum serta patokan independen copula untuk model kecepatan angin. Sebuah jarak dari pemisahan model tergantung dari korelasi peringkat kecepatan angin yang diciptakan, dan hal itu menunjukkan bagaimana peringkat korelasi dapat digunakan untuk menghitung parameter dari copula tersebut. Evaluasi itative kuantitatif dan kualitatif dari copula

menunjukkan Gumbel copula menjadi yang terbaik secara keseluruhan, sesuai di berbagai pangkat korelasi. Hasil ini dapat diperpanjang untuk mempertimbangkan copula lainnya selain Archimedean, copula elips, dan yang sesuai untuk pemodelan daya angin.



Gambar 2 10 Peringkat korelasi koefisien dari 500 pasang instalasi angin dari NREL *Eastern Dataset* menggunakan A) rata-rata harian, B) rata-rata jam, dan C) sampel 10 menit.

Louie, H. (2012),

BAB 3

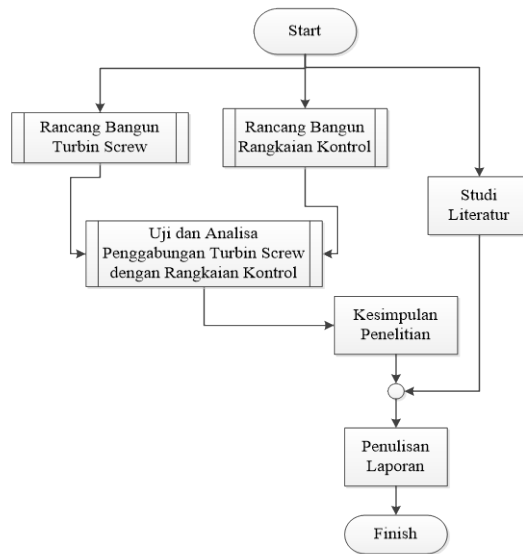
METODE PENELITIAN

Pada Penelitian ini, menggunakan metoda penelitian yang meliputi rancangan penelitian, rancang bangun sistem serta prosedur pengujian dan pengambilan data yang dilakukan secara terpisah, kemudian dilanjutkan dengan penggabungan sistem secara keseluruhan dengan instrumen penelitian.

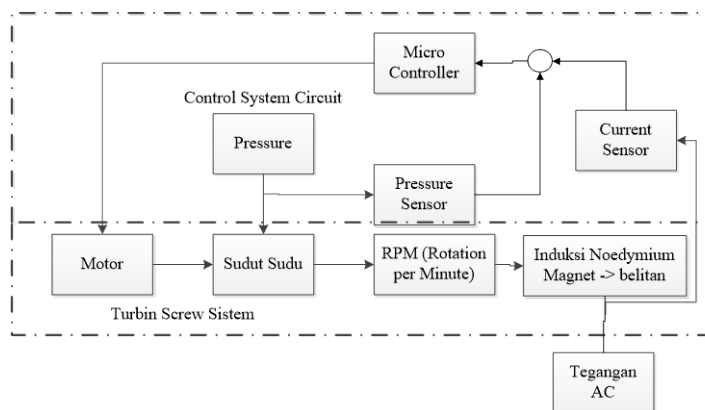
3. 1. Desain Penelitian

Penelitian ini dirancang dengan alur sesuai dengan bagan alur pada Gambar 3.1, dengan rincian sebagai berikut:

1. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur atas piranti yang akan digunakan dalam pengubahan energi kinetik air di dalam pipa menjadi energi listrik.
2. Setelah memahami atas obyek yang akan dikerjakan, langkah selanjutnya dilakukan dengan menguji, menganalisa dan mulai menuliskan draft penelitian atas bagian yang terpisah. Bagian ini terbagi atas tiga yakni, bagian mekanika dan sistem elektrik turbin *screw*, sistem kontrol yang berfungsi mengendalikan sudut sudu turbin atas pembacaan sensor yang didapat, dan ketiga menyusun konsep pengatur tegangan, agar tegangan yang didapat dari perputaran turbin dapat optimal.
3. Setelah tiap bagian selesai dianalisa dan mendapatkan sistem yang baik, maka proses selanjutnya dilakukan dengan menggabungkan bagian – bagian tersebut. Dan selanjutnya dilakukan pengujian, penganalisaan dan penulisan draft atas bagian – bagian yang telah disatukan.

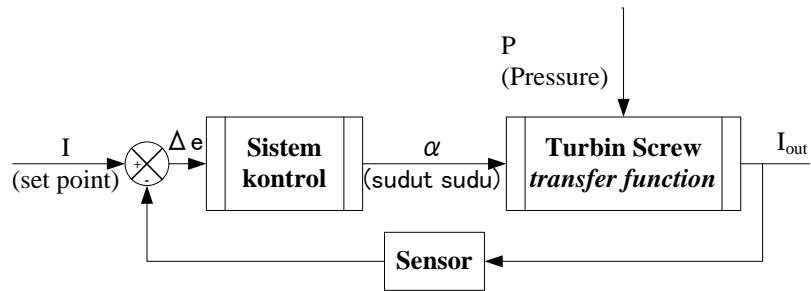


Gambar 3. 1 Bagan alur penelitian.



Gambar 3. 2 Diagram blok sistem keseluruhan.

Sistem turbin yang dirancang seperti dalam Gambar 3.2 terbagi menjadi dua sistem, yakni sistem turbin *screw* dan sistem rangkaian kontrol. Pada sistem turbin *screw*, sistem ditujukan untuk proses pengubahan sudut dari sudu turbin. Pada sistem rangkaian kontrol, sistem ditujukan untuk proses pengaturan sudut sudu turbin, pengawasan terhadap perubahan tekanan, pengawasan terhadap perubahan nilai arus AC yang dihasilkan dari perputaran turbin.



Gambar 3. 3 Gambar keseluruhan sistem turbin schrew

Proses rancang bangun turbin *screw* ini dilakukan sesuai dengan Gambar 3.3 dengan rencana proses sebagai berikut:

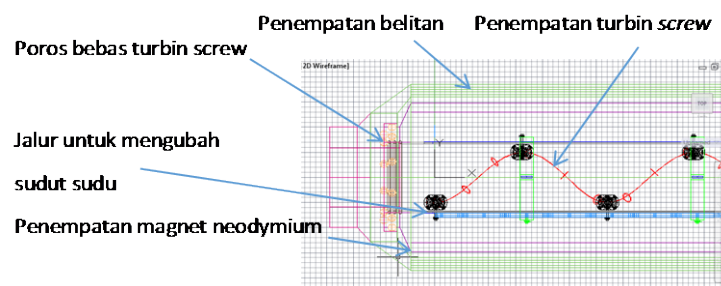
1. Pendesainan turbin dengan mempertimbangkan hal – hal sebagai berikut:.
 - Turbin diharapkan memiliki *head loss* (nilai rugi tekan) serendah mungkin
 - Memiliki fleksibilitas dalam perubahan sudut sudu.
2. Setelah tahap pendesainan dilakukan proses pembuatan dilanjutkan dengan proses pengujian turbin. Dalam tahap pengujian ini diharapkan dapat diketahui karakteristik dari turbin yang direncanakan baik dalam hal kecepatan putar, serta arus optimum yang dihasilkan dalam setiap perubahan sudut sudu dan terhadap perubahan tekanan yang diterima oleh turbin.



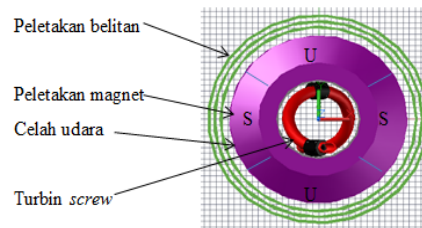
Gambar 3. 4 Flow chart alur rancang bangun turbin *screw*.

Sedang untuk proses pembangkitan energi listrik dilakukan dengan memutar magnet neodymium yang diposisikan di lapisan luar turbin, sehingga akan menimbulkan medan induksi yang kemudian ditangkap melalui belitan yang diletakkan secara statis di lapisan luar magnet neodymium untuk diubah menjadi energi listrik AC.

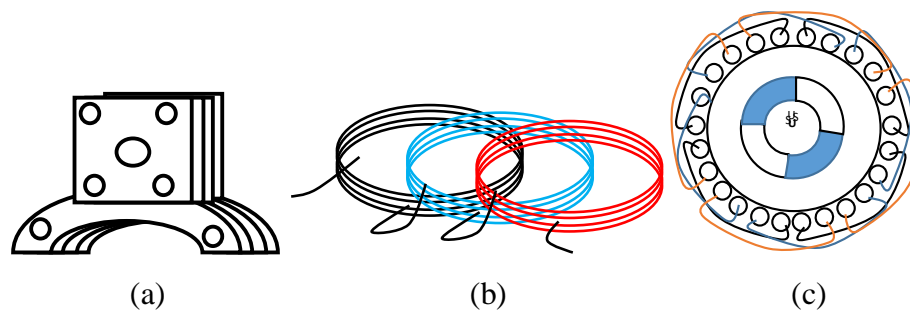
Pada desain turbin ini diletakkan bersama sama dengan magnet neodymium yang berputar pada poros bebas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 5 Sistem Penempatan komponen turbin.



Gambar 3. 6 Desain alternator yang digunakan tampak depan.



Gambar 3. 7 Desain alternator.

Untuk pendesainan alternator digunakan magnet neodmium yang dijadikan satu dengan turbin dengan pola yang ditunjukkan dalam Gambar 3.6. dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Inti turbin terbuat dari besi (Gambar 3.7(a)).
2. Belitan dibuat dari tembaga per 100 putaran yang disusun secara seri (Gambar 3.7(b)).

Alur stator diletakkan sesuai dengan Gambar 3.8(c).

3. 2. Sistem Turbin Screw

Pada proses rancang bangun sistem turbin screw dilakukan dalam dua tahapan proses yakni proses rancang bangun penelitian turbin screw serta prosedur pengujian dan pengambilan data turbin screw. Secara keseluruhan turbin ini bekerja dengan memantau nilai perubahan arus keluaran dari turbin terhadap set point yang diperbolehkan dengan gangguan berupa perubahan tekanan seperti yang tergambar dalam Gambar 3.3. Besar nilai arus listrik yang dihasilkan ini sangat dipengaruhi oleh besar tekanan dan sudut sudu dari sistem turbin.

3.2. 1. Simulasi Turbin

Sebelum dilakukan perealisasi sistem turbin, sistem dianalisa dengan menggunakan simulasi. Simulasi sistem ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh turbin dari dua hal, yakni sudut sudu dan tekanan yang dikenainya. Simulasi ini dilakukan dengan melakukan perhitungan terlebih dahulu terhadap beberapa karakter dari desain yang digunakan.

Dengan desain turbin tersebut maka diharapkan perubahan nilai tekan akibat adanya turbin tidak terlalu besar dibanding dengan desain turbin yang telah ada atau dengan kata lain *head loss* yang diakibatkan dengan pemasangan turbin tidak terlalu besar. Dibuktikan dengan menggunakan persamaan bernouli dan persamaan kontinuitas lebar kanal konstan sehingga didapatkan Persamaan 3.1.

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \quad (3.1)$$

dimana P_1 adalah tekanan fluida pada titik 1 (atm), P_2 adalah tekanan fluida pada titik 2 (atm), v_1 adalah kecepatan alirann air pada titik 1 (m/s), v_2 adalah kecepatan aliran air pada titik 2 (m/s), ρ adalah massa jenis air (kg/m^3).

Menggunakan persamaan kontinuitas untuk lebar kanal konstan, dengan b mempresentasikan lebar kanal, v_1 merupakan kecepatan aliran air di titik 1, v_2 merupakan kecepatan aliran air di titik 2, H_1 ketinggian aliran pada titik 1, H_2 ketinggian aliran pada titik 2 dan h merupakan tinggi tonjolan yang menghadang aliran air, dapat dirumuskan menjadi Persamaan 3.2,

$$v_1 = \frac{bH_2}{bH_1} v_2 \quad ; \quad H_2 = H_1 - h$$
$$v_2 = \frac{H_1}{H_1 - h} v_1 \quad (3.2)$$

dimana v_1 adalah kecepatan alirann air pada titik 1 (m/s), v_2 adalah kecepatan alirann air pada titik 2 (m/s), H_1 adalah tinggi aliran air pada titik 1 (m), H_2 adalah tinggi aliran air pada titik 2 (m), dan h adalah tinggi tonjolan (m).

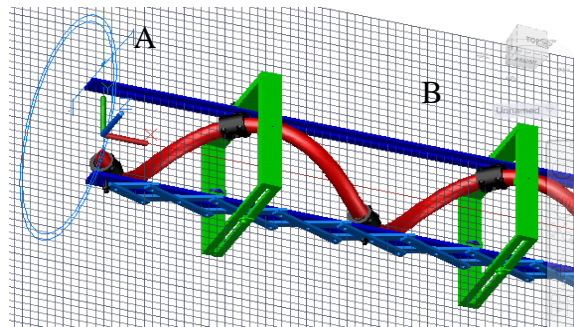
Dengan memasukkan Persamaan 3.2 ke dalam Persamaan 3.1, maka didapatkan Persamaan 3.3,

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho} = \frac{v_1^2}{2} \left(\frac{H_1^2}{(H_1 - h)^2} - 1 \right)$$

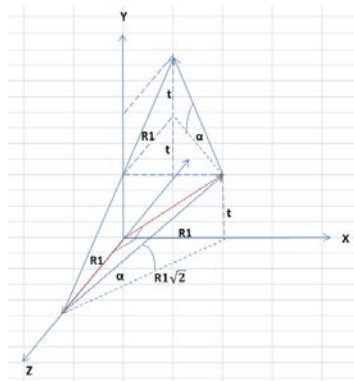
$$P_1 - P_2 = \rho \frac{v_1^2}{2} \left(\frac{h^2 - 2H_1h}{(H_1 - h)^2} \right) ; \quad P = P_1 - P_2$$

$$v_1 = \sqrt{2 \frac{P}{\rho} \left(\frac{(H_1 - h)^2}{h^2 - 2H_1h} \right)} \quad (3.3)$$

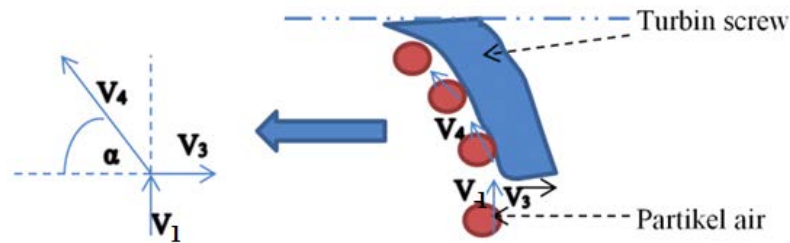
dimana P_1 adalah tekanan fluida pada titik 1 (atm), P_2 adalah tekanan fluida pada titik 2 (atm), v_1 adalah kecepatan aliran air pada titik 1 (m/s), v_2 adalah kecepatan aliran air pada titik 2 (m/s), H_1 adalah tinggi aliran air pada titik 1 (m), H_2 adalah tinggi aliran air pada titik 2 (m), h adalah tinggi tonjolan (m), dan ρ adalah massa jenis air (kg/m^3).



Gambar 3. 8 Sistem perubahan besar sudut sudu dengan memperpendek dan memperpanjang jarak titik A dan B.



Gambar 3. 9 Perubahan sudut sudu melalui perubahan jarak.



Gambar 3. 10 Ilustrasi energi kinetik dan momentum yang terjadi pada sistem turbin.

Pengubahan nilai sudut sudu dilakukan dengan menggeser jarak antara dua titik sudu (shaft), seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.5 dan Gambar 3.6. Dalam Gambar 3.6 tersebut diketahui bahwa dalam satu kali putar pilin sudu, maka terdapat jarak antara awal pilin dengan satu kali putar pilinan, yang ditandai dengan titik A dan titik B.

Analisa momentum atau tumbukan yang terjadi digambarkan pada Gambar 3.7. Saat sudu kondisi awal tidak bergerak dengan kata lain sudu bergerak karena mendapatkan tumbukan dari aliran air yang mengalir sebagaimana dijabarkan dalam Persamaan 3.4 dan Persamaan 3.5.

- Analisa sumbu vertikal

(kondisi awal diam)

$$m_{air} v_1 + m_{selang} v_2 = m_{air} v_4 \sin \alpha + m_{selang} v_3 \cos 90^\circ ; v_2 = 0$$

$$m_{air} v_1 = m_{air} v_4 \sin \alpha$$

$$v_4 = \frac{v_1}{\sin \alpha} \quad (3.4)$$

dimana m_{air} adalah massa air (gr), v_1 adalah kecepatan aliran fluida awal (m/s), v_4 adalah kecepatan aliran fluida yang dibelokkan (m/s), dan α adalah besar sudut sudu turbin (*degree*).

- Analisa sumbu horizontal

(kondisi awal diam)

$$m_{air} v_1 \cos 90^\circ + m_{selang} v_2 = m_{air} v_4 \cos \alpha + m_{turbin} v_3 ; v_2 = 0$$

$$0 = m_{air} v_4 \cos \alpha + m_{turbin} v_3$$

$$\begin{aligned}
v_3 &= -\frac{m_{air}}{m_{turbin}} v_4 \cos \alpha \\
v_3 &= -\frac{m_{air}}{m_{turbin}} \frac{v_1}{\sin \alpha} \cos \alpha \\
v_3 &= -\frac{m_{air}}{m_{turbin}} v_1 \cot \alpha
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Energi Kinetik dari aliran air yang menghantam turbin, yakni Ek_2 , kemudian dirubah menjadi energi kinetik yang dibelokkan dengan sudut sudu α (Ek_4) dan menjadi energi kinetik rotasi dari turbin (Ek_3). Analisa energi kinetik berdasarkan hukum kekekalan energi tersebut dijabarkan dalam Persamaan 3.6, Persamaan 3.7, dan Persamaan 3.8.

- Energi awal

$$\begin{aligned}
Ek_{awal} &= Ek_1 + Ek_2 \\
Ek_{awal} &= \frac{1}{2} m_{air} v_1^2 + 0 \\
Ek_{awal} &= \frac{1}{2} m_{air} v_1^2
\end{aligned} \tag{3.6}$$

dimana m_{air} adalah massa air (gr), v_1 adalah kecepatan aliran fluida awal (m/s), dan α adalah besar sudut sudu turbin (*degree*).

- Energi akhir

$$\begin{aligned}
Ek_{akhir} &= Ek_3 + Ek_4 \\
Ek_{akhir} &= \frac{1}{2} m_{turbin} v_3^2 + \frac{1}{2} m_{air} v_4^2 \\
Ek_{akhir} &= \frac{1}{2} m_{turbin} \left(-\frac{m_{air}}{m_{turbin}} v_1 \cot \alpha \right)^2 + \frac{1}{2} m_{air} \left(\frac{v_1}{\sin \alpha} \right)^2 \\
Ek_{akhir} &= \frac{1}{2} \frac{m_{air}^2}{m_{turbin}} v_1^2 \cot^2 \alpha + \frac{1}{2} m_{air} \left(\frac{v_1}{\sin \alpha} \right)^2
\end{aligned} \tag{3.7}$$

dimana m_{air} adalah massa air (gr), m_{turbin} adalah massa turbin (gr), v_1 adalah kecepatan aliran fluida awal (m/s), v_4 adalah kecepatan aliran fluida yang dibelokkan (m/s), v_3 adalah kecepatan putar turbin (m/s), dan α adalah besar sudut sudu turbin (*degree*).

- Energi awal = Energi akhir

$$Ek_{awal} = Ek_{akhir}$$

$$\frac{1}{2} m_{air} v_1^2 = \frac{1}{2} \frac{m_{air}^2}{m_{turbin}} v_1^2 \cot^2 \alpha + \frac{1}{2} m_{air} \left(\frac{v_1}{\sin \alpha} \right)^2$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{m_{air}}{m_{turbin}} \cos^2 \alpha + 1$$

$$\sin^2 \alpha - 1 = \frac{m_{air}}{m_{turbin}} \cos^2 \alpha$$

$$-\cos^2 \alpha = \frac{m_{air}}{m_{turbin}} \cos^2 \alpha$$

$$m_{turbin} = -m_{air} \quad (3.8)$$

Dengan memasukkan Persamaan 3.8 ke dalam Persamaan 3.5 akan didapatkan Persamaan 3.9 yang menunjukkan nilai dari kecepatan linear turbin (v_3).

$$v_3 = -\frac{m_{air}}{m_{turbin}} v_1 \cot \alpha$$

$$v_3 = -\frac{m_{air}}{-m_{air}} v_1 \cot \alpha$$

$$v_3 = v_1 \cot \alpha$$

$$v_3 = \cot \alpha \sqrt{2 \frac{P}{\rho} \left(\frac{(H_2 - h)^2}{h^2 - 2H_2 h} \right)} \quad (3.9)$$

dimana m_{air} adalah massa air (gr), m_{turbin} adalah massa turbin (gr), v_1 adalah kecepatan aliran fluida awal (m/s), v_3 adalah kecepatan putar turbin (m/s), dan α adalah besar sudut sudu turbin (*degree*).

Dari perhitungan kekekalan tersebut dapat diketahui besarnya kecepatan putar (v_3) yang ditimbulkan oleh kecepatan laju fluida (v_1), sehingga dapat diketahui kecepatan sudut turbin (ω_{turbin}) yang dihitung dalam Persamaan 3.10,

$$\omega_{turbin} = \frac{v_B}{R_1}$$

$$\omega_{turbin} = \frac{\cot \alpha}{R_1} \sqrt{2 \frac{P}{\rho} \left(\frac{(H_2 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)} \quad (3.10)$$

Sehingga nilai kecepatan sudut dalam rpm (s), dapat dihitung dengan Persamaan 3.11,

$$s = \omega_{turbin} \frac{60}{2\pi}$$

$$s = 30 \frac{\cot \alpha}{\pi R_1} \sqrt{2 \frac{P}{\rho} \left(\frac{(H_2 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)} \quad (3.11)$$

dimana s adalah kecepatan sudut turbin (rpm).

Dengan demikian frekuensi yang dibangkitkan oleh turbin dengan 6 kutub dapat dihitung dengan Persamaan 3.12,

$$f = \frac{sn}{120}$$

$$f = \frac{n \cot \alpha}{4\pi R_1} \sqrt{2 \frac{P}{\rho} \left(\frac{(H_2 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)} \quad (3.12)$$

Sehingga tegangan GGL yang dihasilkan dapat dihitung dengan Persamaan 3.13, \emptyset

$$E = 4 f f_v f_w \Phi W l$$

$$E = \frac{n \cot \alpha}{\pi R_1} \sqrt{2 \frac{P}{\rho} \left(\frac{(H_2 - h)^2}{h^2 - 2H_1 h} \right)} f_v f_w \Phi W l \text{ Volt} \quad (3.13)$$

dimana H_1 adalah tinggi aliran air pada titik 1 (mm), h adalah tinggi tonjolan (mm), ρ adalah massa jenis air (kg/mm^3), R_1 adalah jari – jari pilin sudu (mm), α adalah besar sudut sudu turbin (deg), P adalah tekanan yang diterima sudu (atm), R_1 adalah jari – jari turbin (mm), N adalah jumlah kutub (pole), E adalah tegangan GGL generator (V), f adalah frekuensi generator (Hz), f_v adalah faktor efektif = 1,111, f_w adalah faktor lilitan (untuk generator fasa tunggal adalah 0,8 dan untuk generator fasa tiga adalah 0,96), Φ adalah fluks (garis gaya = 108 maxwell), dan Wl adalah lilitan.

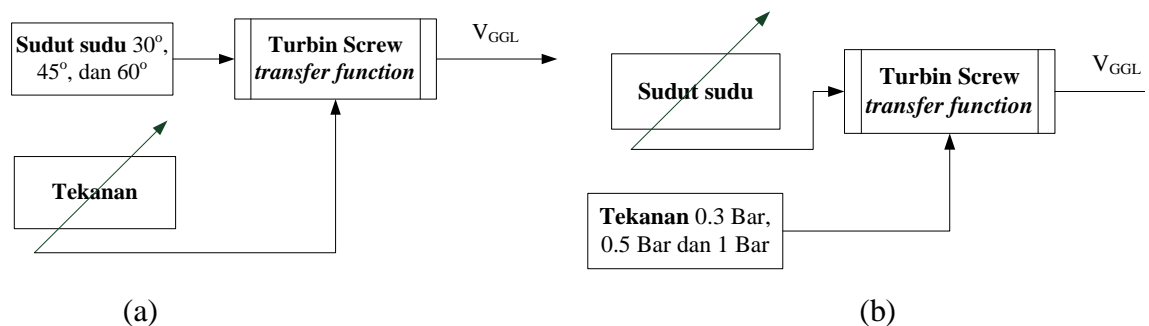
Menggunakan persamaan 3.13 tersebut, simulasi dilakukan dengan memberi nilai awalan untuk masing- masing variable yang diketahui, antara lain, jumlah kutub (N) adalah 6 pole, jari jari pilin sudu (R_1) adalah sebesar 1.5 cm, massa jenis air (ρ) sebesar 1 gr/cm³, tinggi aliran air pada titik 1 (H_1) sebesar 4.5 cm, tinggi tonjolan (h) sebesar 3.5 cm, factor efektif (f_v) sebesar 1.111, faktor lilitan satu fasa (f_w) sebesar 0.8, besar nilai fluks (magnet neodymium) sebesar 0.05 weber, dan jumlah banyaknya belitan (Wl) sebesar 100 lilitan. Penggambaran dari persamaan 3.13 setelah memasukkan nilai variable tersebut ditulis dalam persamaan 3.14.

$$E = 5.65 \cot \alpha \sqrt{0.1P} \quad (3.14)$$

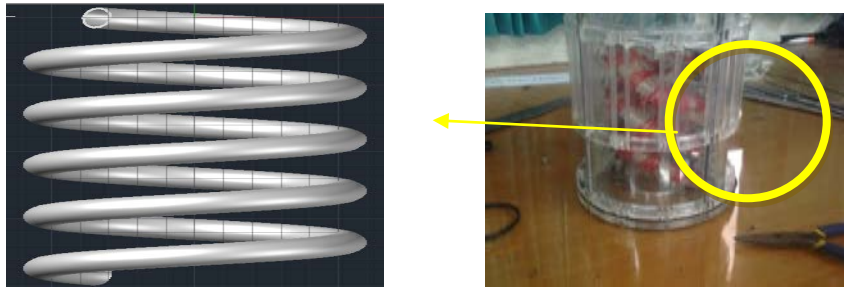
Persamaan 3.14 menunjukkan hubungan dari tiga variable yang kemudian digunakan untuk menguji sistem sesuai dengan Gambar 3.3. Persamaan 3.14 menunjukkan keterkaitan antara tegangan GGL yang dihasilkan oleh turbin terhadap sudut sudu dan tekanan air yang mengenai turbin. Pengujian dilakukan dengan dua cara yakni, sudut diset dengan besar yang telah ditentukan (30°, 45°, dan 60°) sedang tekanan berubah ubah dan kedua dengan men set nilai tekanan yang telah ditentukan (0.3 Bar, 0.5 Bar dan 1 Bar), dengan digram uji seperti Gambar 3.7.

3.2. 2. Perealisasian Sistem Mekanik

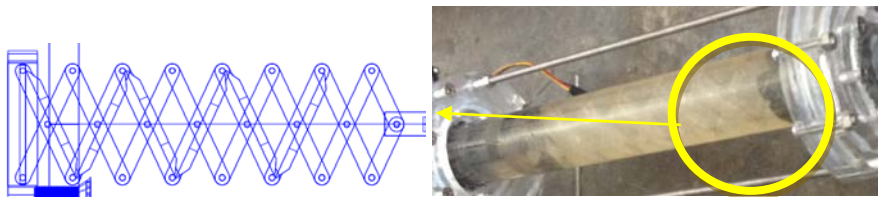
Perealisasian sistem mekanik terbagi menjadi tiga, yakni desain bentuk sudu turbin, sistem gerak perubahan sudut turbin, serta desain wadah, guna mendapatkan aliran yang laminar dan kuat.



Gambar 3. 11 Diagram Simulasi Turbin.



Gambar 3. 12 Turbin *screw* dengan pipa yang dipilin.



Gambar 3. 13 Turbin *screw* dengan lengan gunting



Gambar 3. 14 Turbin *screw* dengan bahan resin

3.2.2.1. Desain Bentuk Sudu Turbin

Bentuk sudu turbin telah dilakukan beberapa modifikasi bentuk dari pola dasar *screw* dengan ukuran diameter maksimal 2 cm. Beberapa bentuk modifikasi sudu yang dilakukan ditujukan untuk mencari bentuk sudu yang memiliki fleksibilitas tinggi namun mampu menahan tekanan aliran. Bentuk sudu yang telah dilakukan baik dalam bahan maupun model, yakni

- Bentuk sudu yang terbuat dari pilinan pipa atau pillinan selang.

Sudu (*blade*) pada turbin dirancang dengan bentuk pipa yang dipilin/diposisikan seperti ulir yang ditunjukkan dalam Gambar 3.17.

Pipa yang dipilin tersebut kemudian dikaitkan dengan pipa yang telah

dipilin lainnya menjadi satu sehingga menjadi luasan blade yang dapat dirubah jaraknya.

- Bentuk sudu dengan lengan gunting

Sudu bentuk ini dibuat dengan bentuk setengah lingkaran yang dihubungkan dengan as lengan gunting, sehingga sudut dapat berubah seirama dari ujung sudu depan hingga sudu ujung belakang. Sudu ini terbuat dari bahan akrilik sehingga kuat dan mudah digunakan.

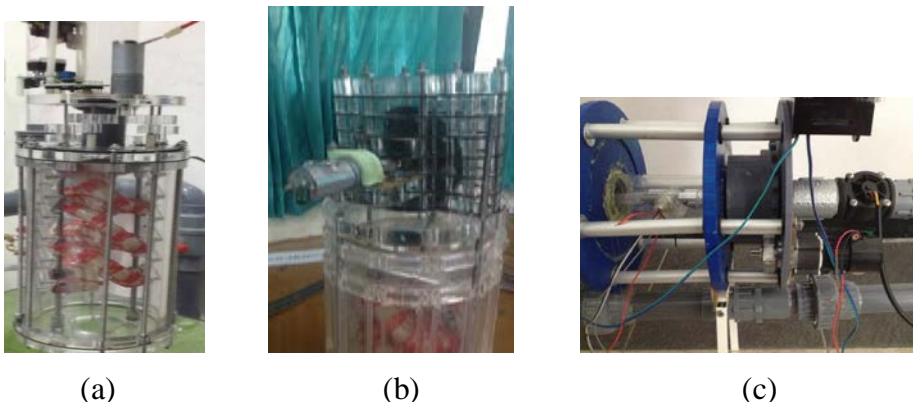
- Bentuk sudu ulir menggunakan bahan resin lunak

Sudu bentuk ini berbentuk ulir, yang dibuat dengan cara mencetak menggunakan bahan resin, sudu ini mampu berbentuk ulir sempurna, tidak keras dan fleksibel.

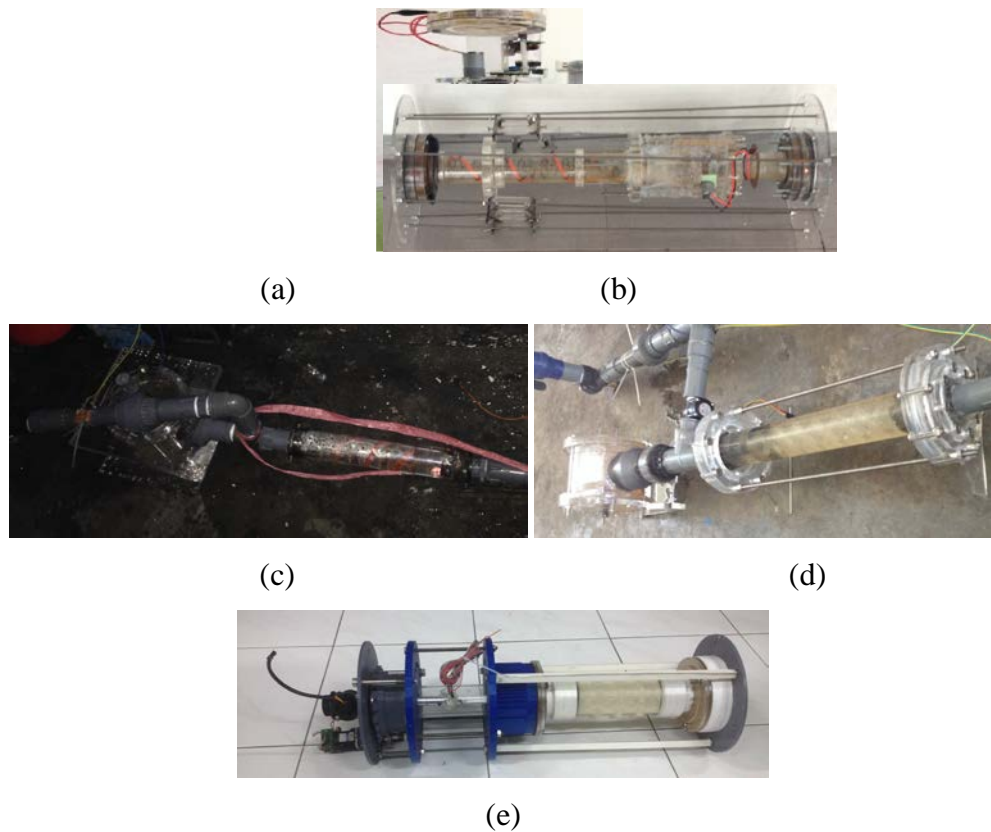
Sudu ini diuji dengan cara menempatkannya ke dalam sistem dan dialiri aliran air.

3.2.2.2. Desain Sistem Gerak Perubahan Sudut

Sistem gerak perubahan sudut ini digunakan untuk mengubah jarak antar pitch sudu turbin. Sistem perubahan posisi ini telah dilakukan dengan tiga cara, yakni dengan mengkopling motor dengan stut as, mengkopling motor dengan poros putar, dan mengkopling motor dengan gear set seperti yang terlihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3. 15 (a) motor dikopling langsung dengan stut as, (b) motor dikopling dengan poros putar, dan (c) motor dikopling dengan gear set.



Gambar 3. 16 Perkembangan Desain Wadah (a) Wadah desain pertama, (b) Wadah desain kedua, (c) Wadah desain ketiga, (d) Wadah desain keempat, dan (e) Wadah desain kelima

3.2.2.3. Desain Wadah Turbin

Desain wadah turbin ini merupakan hal yang sangat penting, sebab wadah ini selain berfungsi sebagai penutup turbin, juga berfungsi sebagai pengarah aliran dan penentu model aliran. Desain wadah ini mengalami 5 kali perubahan untuk mendapatkan tekanan air yang kuat dan aliran laminar. Hasil perancangan desain turbin terlihat pada Gambar 3.21. Pada desain pertama, aliran air mengarah atas ke bawah, sedang pada desain selanjutnya aliran air mengalir secara horizontal. Desain ini mengalami perubahan secara signifikan berdasar hasil pengujian sebelumnya.

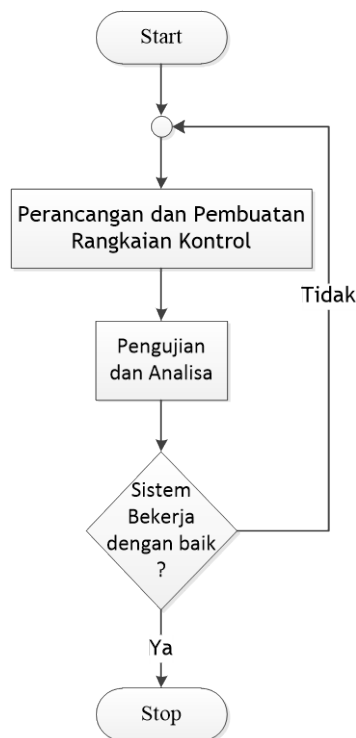
3.2. 3. Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data Turbin Screw

Proses pengujian dan pengambilan data percobaan hasil rancang bangun dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

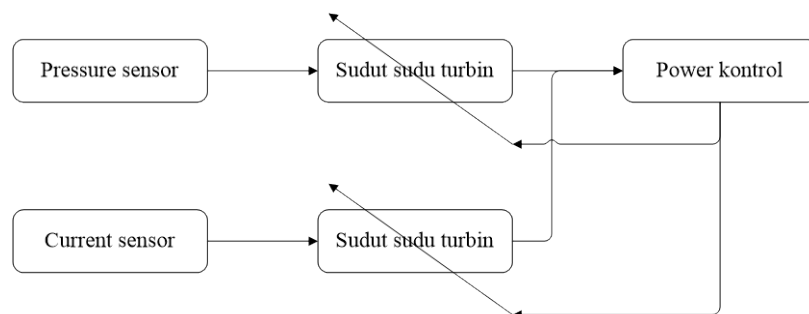
1. Setelah turbin selesai dibuat, turbin diuji dengan mengubah ubah sudut sudu dengan menambah jarak sudu dengan cara memutar motor.
2. Mengkalibrasikan jarak dengan sudut yang dihasilkan.
3. Kemudian proses memutar turbin secara utuh, untuk mendapatkan pola nilai tegangan yang dihasilkan.
4. Menempatkan turbin dalam sistem uji, untuk mengetahui efek head loss yang ditimbulkan oleh turbin.
5. Mengubah ubah besar sudut sudu, untuk mendapatkan pola tegangan yang dihasilkan serta head loss yang disebabkan oleh perubahan sudut sudu.
6. Memberikan nilai tekanan yang berubah – ubah untuk mendapatkan karakteristik kerja dari turbin yang didesain.

3. 3. Sistem Rangkaian Kontrol

Pada proses rancang bangun sistem turbin screw dilakukan dalam dua tahapan proses yakni proses rancang bangun penelitian rangkaian kontrol serta prosedur pengujian dan pengambilan data rangkaian kontrol.

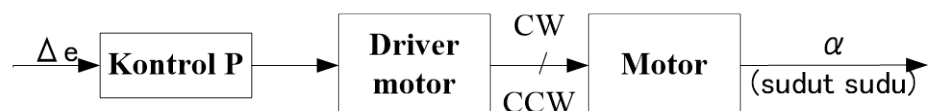


Gambar 3. 17 Flow chart alur rancang bangun rangkaian kontrol.



Gambar 3. 18 Sistem kontrol sudut sudu turbin.

Sistem kontrol yang digunakan dalam penelitian ini digambarkan dalam Gambar 3.8. Sistem kontrol ini terdiri atas kontrol P sebagai kontrol sistem, rangkaian driver motor sebagai pengendali perubahan sudut, dan motor sebagai aktuator pengubah sudut.



Gambar 3. 19 Sistem Kontrol Turbin screw.

Sedang untuk pengubahan nilai sudut sudu dilakukan dengan menggeser jarak antara dua titik sudu (*shaft*), seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.5 dan Gambar 3.6 dengan perhitungan yang ditunjukkan dalam Persamaan 3.15, Persamaan 3.16 dan Persamaan 3.17. Gambar 3.5 menunjukkan bahwa dalam satu kali putar pilin sudu, maka terdapat jarak antara awal pilin dengan satu kali putar pilinan, yang ditandai dengan titik A dan titik B. Maka untuk mengubah sudut sudu antara $30^\circ - 60^\circ$ perlu diketahui jarak minimum dan maksimum antara titik A dan titik B dalam Gambar 3.6, serta usaha yang dibutuhkan untuk mengubah sudut sudu tersebut.

Bila diandaikan sudu mempunyai jari jari sebesar R maka dengan konsep pithagoras didapatkan Persamaan 3.15,

$$R = \sqrt{R_1^2 + R_1^2}$$

$$R = R_1 \sqrt{2} \quad (3.15)$$

dimana R adalah jarak titik A yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 terhadap $\frac{1}{4}$ putar sudu (mm) dan R_1 adalah jari – jari pilin sudu (mm).

Dengan mengandaikan sudut perubahan sudu sebesar α , tinggi seperempat putar sudu dapat dihitung dengan Persamaan 3.16,

$$\tan \alpha = \frac{r}{R}$$

$$t = R_1 \sqrt{2} \tan \alpha \quad (3.16)$$

dimana t adalah tinggi ulir akibat penggunaan sudut α (mm) dan α adalah besar sudut yang akan dikenakan pada turbin (deg).

Sehingga tinggi total satu putar sudu dapat dituliskan menjadi Persamaan 3.17,

$$t_{total} = 4t \quad (3.17)$$

dimana t_{total} adalah tinggi total satu putar sudu turbin (mm).

Karena turbin yang dirancang direncanakan memiliki perubahan antara $30^\circ - 60^\circ$, dari perhitungan di atas didapatkan data perubahan jarak AB maksimum dan minimum yang ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Dari data Tabel 3.1 diatas dapat diketahui bahwa dari Gambar 3.7 dengan kondisi sudut sudu (α) bernilai 30° dengan panjang jari jari sudu (R) 45 mm., maka didapatkan tinggi satu kali putar sudu memiliki jarak sebesar 73 mm. Dengan memperkirakan jumlah sudu sebesar 1,5 putar, maka dapat diketahui jarak keseluruhan sebesar 110 mm. Demikian pula dengan kondisi sudut sudu (α) bernilai 60° dengan panjang jari jari sudu (R) 30 mm., maka didapatkan tinggi satu kali putar sudu memiliki jarak sebesar 147 mm. Dengan memperkirakan jumlah sudu sebesar 1,5 putar, maka dapat diketahui jarak keseluruhan sebesar 220 mm.

Dengan demikian dapat diketahui gaya dorong (F) yang dialami oleh turbin akibat tekanan (P) yang diterimanya dalam luas penampang yang terkena hantam (A), yang dirumuskan ke dalam Persamaan 3.18,

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = PA$$

$$F = \left(\rho \frac{v_1^2}{2} \left(\frac{H_1^2}{(H_1 - h)^2} - 1 \right) \right) A \quad (3.18)$$

dimana P adalah tekanan aliran air yang diterima oleh sudu (atm), F adalah gaya dorong yang dialami oleh sudu (N), A adalah luas penampang sudu yang terkena tekanan aliran air (mm^2).

Untuk mempermudah perhitungan, diandaikan lebar penampang permukaan yang terkena hantam aliran air adalah 10 mm dengan jari – jari penampang pipa sebesar r_1 , dan jarak pengubahan sudut adalah titik maksimum dikurangi titik minimum, yakni sebesar 110 mm, maka usaha yang diperlukan untuk mengubah sudut dari minimum dan maksimum dapat diketahui dalam Persamaan 3.19,

Tabel 3.1 Panjang minimum dan maksimum atas turbin yang direncanakan

Ket	Sudut (α)	Jari - Jari (R)	Jarak Satu Putar (t)	Jumlah turn	Total jarak (t_{Total})
Min.	30	4,5	7,3484692	1,5	11,022704
Maks.	60	3	14,696938	1,5	22,045408

$$W = FS$$

$$W = \left(\rho \frac{v_1^2}{2} \left(\frac{H_1^2}{(H_1 - h)^2} - 1 \right) \right) AS \quad (3.19)$$

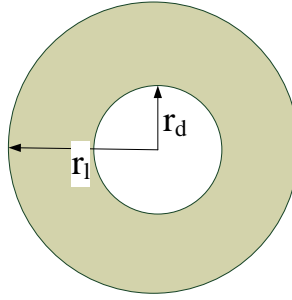
dimana W adalah usaha yang dibutuhkan untuk melakukan perubahan sudut sudu (J), r_1 adalah jari – jari dari sudu yang digunakan sebagai sudu turbin (mm), dan S adalah jarak yang digunakan untuk mengubah sudut sudu (mm).

Dengan memasukkan nilai v_1 dalam Persamaan 3.9 ke dalam Persamaan 3.19, maka didapatkan nilai usaha suatu motor untuk melakukan perubahan sudut seperti yang dituliskan dalam Persamaan 3.20. Dalam Persamaan 3.20 nilai usaha yang dilakukan bernilai negatif karena digunakan dalam kondisi melawan arah aliran air.

$$\begin{aligned} W &= \left(\rho \frac{v_1^2}{2} \left(\frac{H_1^2}{(H_1 - h)^2} - 1 \right) \right) AS ; v_1 = \sqrt{2 \frac{P}{\rho} \left(\frac{(H_1 - h)^2}{h^2 - 2H_1h} \right)} \\ W &= \left(P \left(\frac{(H_1 - h)^2}{h^2 - 2H_1h} \right) \left(\frac{H_1^2}{(H_1 - h)^2} - 1 \right) \right) AS \\ W &= \left(P \left(\frac{1}{h^2 - 2H_1h} \right) (H_1^2 - (H_1 - h)^2) \right) AS \\ W &= \left(P \left(\frac{2H_1h - h^2}{h^2 - 2H_1h} \right) \right) AS \\ W &= -(P)AS \end{aligned} \quad (3.20)$$

dimana P adalah tekanan aliran air yang diterima oleh sudu (atm), A adalah luas penampang sudu yang terkena tekanan aliran air (mm²) dan S adalah jarak yang digunakan untuk mengubah sudut sudu (mm).

Sudu yang digunakan dalam turbin ini dibuat dengan penggambaran seperti dalam Gambar 3.9, dengan luasan area yang berwarna abu – abu sebanyak 3 buah. Sehingga Persamaan 3.20 bila dijabarkan akan menjadi seperti Persamaan 3.21.



Gambar 3. 20 Gambar luas penampang sudu

$$W = -(P)AS; A = 3\pi(r_l^2 - r_d^2)$$

$$W = -3(P)\pi(r_l^2 - r_d^2)S \quad (3.21)$$

dimana P adalah tekanan aliran air yang diterima oleh sudu (atm), r_l adalah jari jari lingkaran luar (mm) , r_d adalah jari jari lingkaran dalam (mm) dan S adalah jarak yang digunakan untuk mengubah sudut sudu (mm).

3.3. 1. Rancang Bangun Penelitian Rangkaian Kontrol

Proses rancang bangun rangkaian kontrol ini dilakukan sesuai alur dalam Gambar 3.22 dengan rencana proses sebagai berikut:

1. Proses rancang bangun rangkaian kendali untuk motor pengubah sudut sudu turbin.
2. Proses rancang bangun rangkaian pembacaan tegangan keluaran dari turbin dan pembacaan tekanan aliran air

Adapun konsep kontrol yang akan digunakan sesuai dengan Gambar 3.23, dengan sistem kerja sebagai berikut,

1. Pertama kali turbin dipasang, turbin akan langsung mentuning sudut sudu sesuai dengan kondisi awal di sistem *plant* di tempatkan untuk mendapatkan nilai putaran yang optimal, kemudian selanjutnya bila terjadi perubahan tekanan maupun tegangan, maka turbin akan kembali mentuning sudut sudunya agar dapat mempertahankan nilai putaran awal tadi atau mencari sudut yang optimal atas tekanan yang baru diterimanya.
2. Sistem pengontrolan sudut sudu dan daya yang digunakan untuk kontrol ini dilakukan dengan cara melihat nilai arus yang dikeluarkan oleh

turbin yang dibaca dari sensor arus (DT-Sense current sensor v 1.0 buatan Innovative Electronics).

3. Kontrol pengoptimalan daya dilakukan dengan membaca tekanan yang ada di dalam turbin, kemudian mentuningkan kembali berdasarkan karakteristik dari turbin, yang didapatkan dari hasil uji coba turbin.

3.3. 2. Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data Rangkaian Kontrol

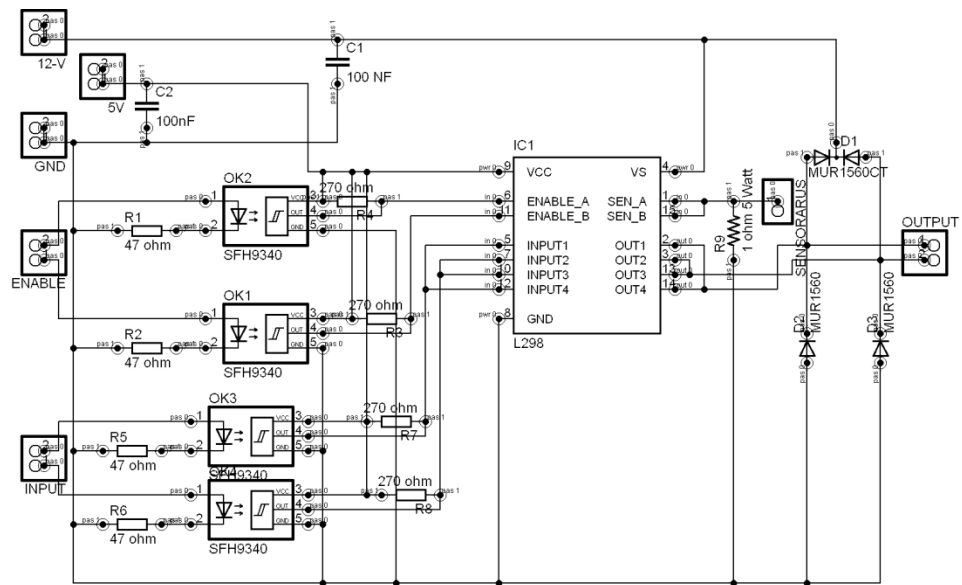
Proses pengujian dan pengambilan data percobaan hasil rancang bangun dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Pengujian rangkaian kendali untuk motor pengubah sudut sudu turbin.
Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) kepada motor pengubah sudut sudu turbin. Kemudian melihat respon dari motor tersebut hingga didapatkan nilai yang sesuai untuk PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler.
2. Pengujian rangkaian pembacaan arus keluaran dari turbin, pembacaan dari putaran turbin, dan pembacaan tekanan di dalam jaringan.
Pengujian ini dilakukan dengan mencuplik sinyal dari rangkaian pembacaan untuk dirubah menjadi data yang dibutuhkan untuk pengolahan.

Pada system kontrol ini rangkaian yang digunakan sebagai pengontrol, antara lain adalah rangkaian driver motor, rangkaian instrumentasi sebagai pembacaan tekanan, serta rangkaian rotary encoder untuk membaca putaran motor dan rangkaian sensor arus, guna melihat arus keluaran dari turbin.

3.3. 3. Rangkaian driver motor

Driver motor digunakan untuk mengendalikan kecepatan putar motor dari turbin untuk mengubah nilai sudut sudu turbin. Driver motor yang digunakan ditunjukkan seperti dalam Gambar 3.26.



Gambar 3. 21 Gambar rangkaian *driver* motor, sebagai antar muka *actuator* pengubah sudut sudu.

Pada driver ini diberikan tambahan optocoupler untuk memisahkan sistem yang berhubungan langsung dengan motor dengan sistem keluaran dari mikrokontroller. Sedang untuk mengetahui bila beban motor mencapai maksimum maka sensor arus yang merupakan keluaran dari IC L298 digunakan. Sehingga mampu digunakan sebagai antisipasi agar motor tidak terbakar.

3. 4. Sistem sensor

Sistem sensor pada turbin ini digunakan untuk membaca parameter yang nantinya digunakan untuk mengontrol arus keluaran dari turbin *screw*.

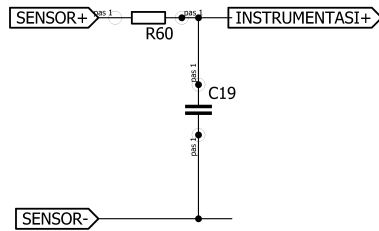
3.4.1. Rangkaian Filter Pasif RC

Rangkaian ini berfungsi untuk menapis frekuensi lebih dari 45 Hz, guna menghindari noise yang terjadi. Dengan menggunakan kapasitor bernilai 100 nF, maka didapatkan resistor bernilai 35k. Perhitungan nilai resistor ini ditunjukkan dalam Persamaan 3.19.

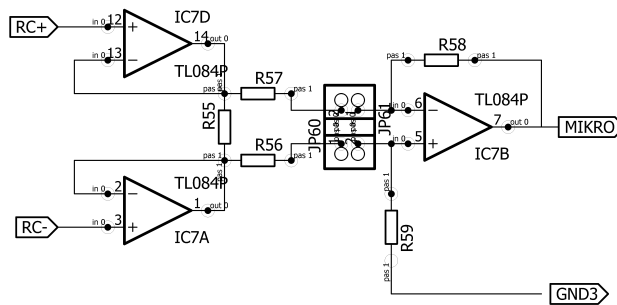
$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{60} C_{19}}$$

$$45Hz = \frac{1}{2(22/7)(100nF)R_{60}}$$

$$R_{60} \cong 35k\Omega \quad (3.19)$$



Gambar 3. 22 Gambar Rangkaian Pasif Filter RC.



Gambar 3. 23 Gambar Rangkaian Instrumentasi menggunakan TL084P

3.4.2. Rangkaian Instrumentasi

Rangkaian ini digunakan untuk melihat nilai tegangan yang dikeluarkan oleh sensor tekanan.

Berdasarkan Gambar 3.28, rangkaian penguat instrumentasi terdiri dari tiga buah Op-Amp, yaitu dua Op-Amp yang tersusun atas TL084P berfungsi sebagai penyangga (buffer) dan Op-Amp dengan TL084P sebagai penguat diferensial. Op-Amp yang berfungsi sebagai penyangga dimanfaatkan impedansi masukannya yang nilainya sangat besar, tetapi penguatannya hanya satu.

3. 5. Penggabungan Sistem

Pada proses ini sistem yang terpisah mulai dijadikan satu bagian untuk diuji dan dianalisa respon sistem, dengan langkah sebagai berikut:

1. Menggabungkan sistem turbin *screw* dengan sistem rangkaian kontrol.
Proses ini ditujukan untuk sinkronisasi antara kinerja turbin dengan kinerja rangkaian kontrol.
2. Setelah proses penggabungan keseluruhan terlaksana, langkah selanjutnya diteruskan dengan menempatkan sistem keseluruhan kedalam sistem uji.

3. 6. Instrumen Penelitian

Pada Penelitian ini instrumentasi yang dipakai antara lain adalah

1. Pressure sensor atau sensor tekanan yang berfungsi untuk mendeteksi nilai tekanan yang ada di dalam jaringan, guna mengetahui torsi yang dikenai pada turbin (mencegah agar turbin tidak menerima torsi melebihi kemampuan turbin)
2. Current sensor yang berfungsi untuk mengetahui nilai arus yang dihasilkan oleh turbin
3. Motor DC berfungsi sebagai pengatur sudut sudu turbin sesuai dengan kondisi yang di inginkan

Mikrokontroler ATmega8 sebagai pusat kontrol dari sistem kontrol sudut sudu yang berada di turbin untuk pusat pengolahan data, kontrol perintah kepada sistem kontrol sudut sudu untuk mengubah besarnya sudut turbin, serta pengatur tegangan keluaran dari turbin.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

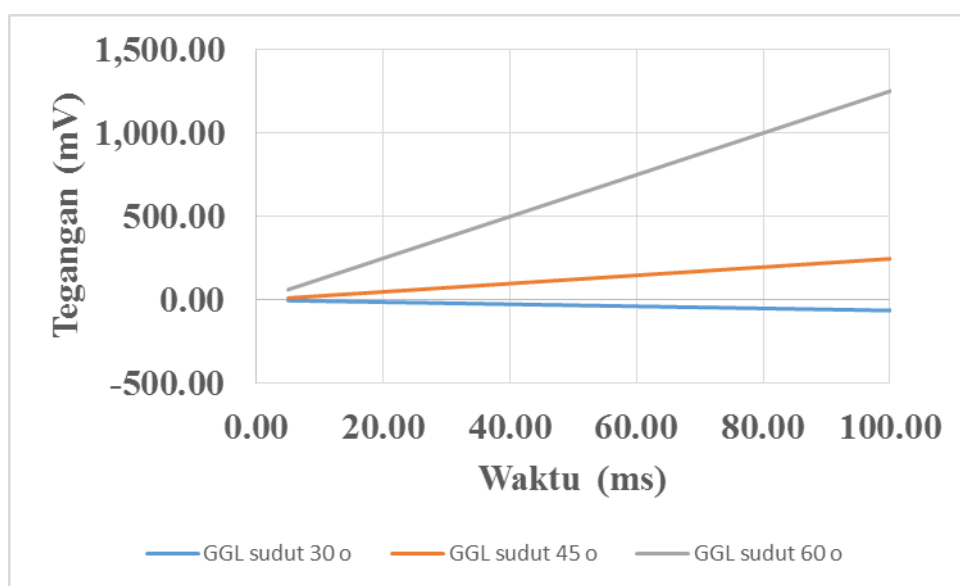
BAB 4

PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan pembahasan ini difokuskan pada pengujian dari sistem Mekanik dan pengujian sistem kontrol yang telah di desain sebelumnya.

4.1. Pengujian Simulasi Sistem Turbin

Rancang bangun sistem mekanik merupakan faktor yang paling penting dalam perealisasi turbin *screw*. Berhasil atau tidaknya sistem sangat bergantung pada sistem mekanik yang didesain. Sebelum menginjak ke tahap perealisasi desain, sistem diuji dengan menggunakan simulasi perhitungan yang ada menggunakan software matlab dengan alur simulasi ditunjukkan dalam Gambar 3.7. Berdasarkan simulasi perhitungan sistem, sistem turbin *screw* ini memiliki pola karakteristik seperti yang terlihat dalam Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



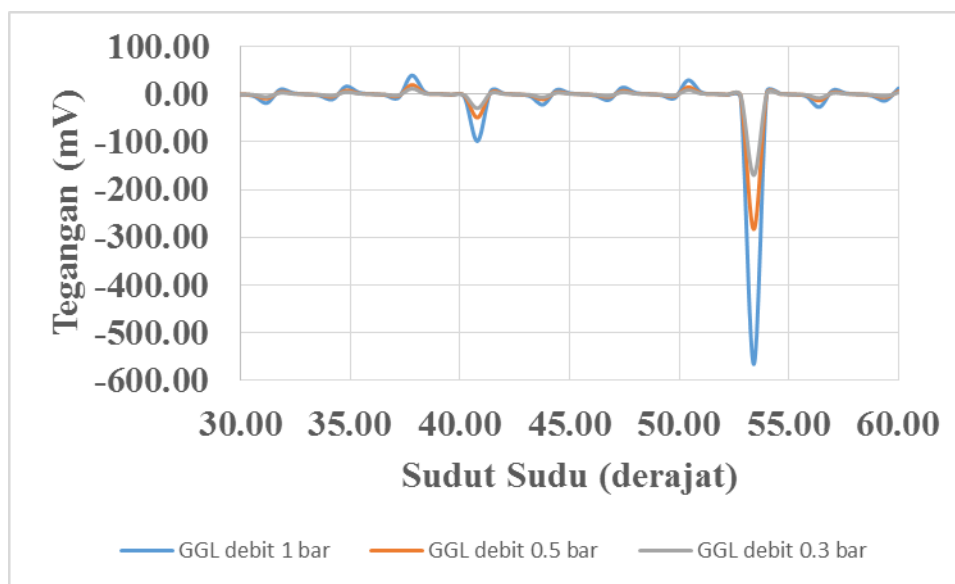
Gambar 4. 1 Gambar hasil simulasi sudut tetap dengan tekanan yang berubah dari 0 -1 bar

Pengujian dengan debit antara 0 – 1 bar pada sudut tertentu yang ditunjukkan pada Gambar 3.13, menghasilkan keluaran tegangan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.14. Pengujian ini menunjukkan bahwa sudut

menentukan hasil keluaran tegangan GGL turbin, dengan sudut yang tetap turbin dapat menjadi beban saat sudut 30° dan mempunyai potensi terbakar saat 60° bila debit yang dikenakan semakin bertambah besar. Oleh sebab itu sangatlah penting untuk mengatur sudut sudu turbin untuk situasi dimana debit yang dikenakan pada turbin berubah – ubah. Pemilihan tekanan sampai dengan 1 bar dikarenakan sistem uji mempunyai jari – jari 1,5 cm.

Pengujian ini memperlihatkan bahwa turbin memberikan nilai keluaran yang tinggi pada saat sudut 60° , dan mempunyai pola hasil yang berbeda saat sudu diatur pada sudut 30° .

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan mengubah – ubah nilai sudut sudu turbin dari 30° sampai 60° dengan tekanan 0,3 bar, 0,5 bar dan 1 bar seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa tegangan tertinggi terjadi pada sudut 60° , namun tegangan mengalami kenaikan seiring bertambahnya debit pada sistem seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.2. Gambar 4.2 juga menunjukkan beberapa sudut menghasilkan tegangan negative, atau dengan kata lain turbin bukan lagi menjadi penghasil listrik tetapi menjadi beban terutama di sudut 54° .



Gambar 4. 2 Gambar hasil simulasi sudut antara 30° sampai 60° dengan tekanan tetap 1 bar, 0,5 bar dan 0,3 bar.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Sudu

No.	Jenis Sudu	Kelebihan	Kekurangan
1.	Pipa yang dipilin	<ul style="list-style-type: none">- Lentur- Tahan terhadap tekanan air	<ul style="list-style-type: none">- Hasil pilinan besar, jadi medianya membesar- Air tidak dapat menumbuk dengan sempurna dan masih banyak celah untuk air lolos- Sudu tidak berubah seirama- Susah untuk dirubah posisinya
2.	Lengan Gunting	<ul style="list-style-type: none">- Perubahan sudu bisa seirama- Mudah untuk dirubah posisinya- Mudah dipertahankan posisinya	<ul style="list-style-type: none">- Licin, air tidak bias menumbuk sempurna
3.	Bahan Resin	<ul style="list-style-type: none">- Memiliki Kelenturan- Mudah diubah posisinya	<ul style="list-style-type: none">- Rawan lepas dari as pemegang

Simulasi dengan menggunakan Matlab menunjukkan sistem dapat dipakai untuk model aliran yang tekanan alirannya tidak mantap, sehingga dapat dilanjutkan ke tahap perealisasi sistem.

4.2. Pengujian Sistem Mekanik

Pengujian sistem mekanik ini bertujuan mengetahui kualitas dan performa dari hasil desain. Hasil pengujian ini dibagi menjadi tiga bagian, yakni performa sudu, performa sistem gerak perubahan sudut dan performa wadah secara keseluruhan. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengamati perilaku hasil desain saat diterapkan ke dalam system uji.

4.2.1. Performa Sudu

Pada bab sebelumnya, perealisasi sudu telah dilakukan tiga macam bentuk dan bahan. Dari hasil pengamatan yang telah dilakukan, ketiga macam sudu ini masing masing memiliki kelebihan dan kekurangan seperti yang dijabarkan dalam Tabel 4.1.

4.2.2. Performa Sistem Gerak Perubahan Sudut

Sistem gerak yang digunakan untuk melakukan perubahan sudut sudu berkembang seiring dengan pengujian yang dilakukan. Hasil yang diperoleh dari pengujian sistem gerak untuk perubahan sudut, dijabarkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Sistem Gerak untuk Perubahan Sudut

No.	Jenis Sistem Gerak	Hasil Pengujian
1.	Kopling As Stut	- Susah dilakukan perubahan sudut, karena berat
2.	Kopling As Lingkar/Poros Putar	- Mudah dilakukan perubahan sudut, namun susah mengatur motor untuk mengetahui posisi sudut, karena setelah setengah lingkaran terlampau, sudut langsung kembali mengecil
3	Kopling Gear Set	- Mudah dilakukan perubahan sudut dan bias diketahui posisi sudu.

4.2.3. Performa Wadah

Pada bab sebelumnya, wadah untuk turbin telah dilakukan 5 desain. Perubahan desain ini menunjukkan perubahan sistem dari kesalahan desain sebelumnya. Kelemahan masing masing desain dijabarkan dalam Tabel 4.3.

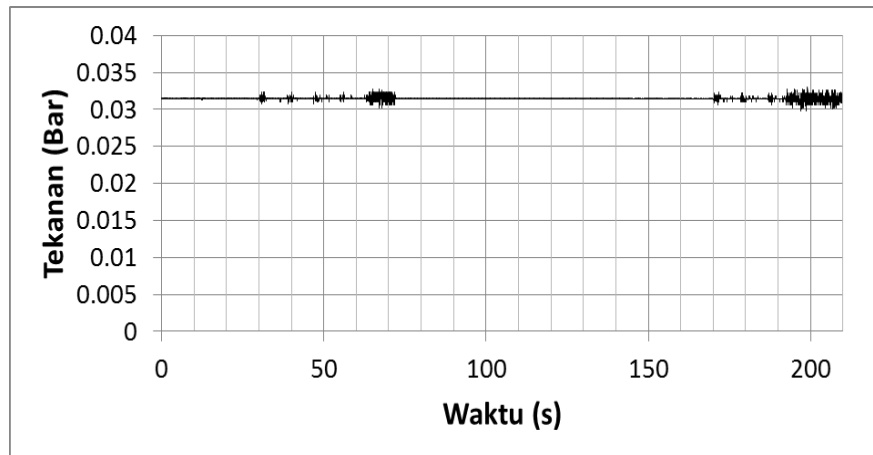
Tabel 4.3. Perkembangan dan Kelemahan Desain Turbin

No	Desain ke-	Kelemahan	Perkembangan
1.	Satu	- Sistem yang terelisasi sangat besar - Sistem gerak perubahan sudu berat	
2.	Dua	- Sistem berat berputar karena desain menggabung antara turbin dan motor pengubah sudu	- Sistem mulai mengecil - Sistem gerak perubahan sudu ringan
3.	Tiga	- Sistem bocor	- Mulai pemisahan antara turbin dengan motor pengubah sudu
4.	Empat	- Sistem tertahan di dua arah saat aliran air dimasukkan, baik di putar ke kiri maupun ke kanan, namun sangat ringan saat tidak ada aliran air	- Pembacaan dengan sensor mulai dilakukan
5	Lima		

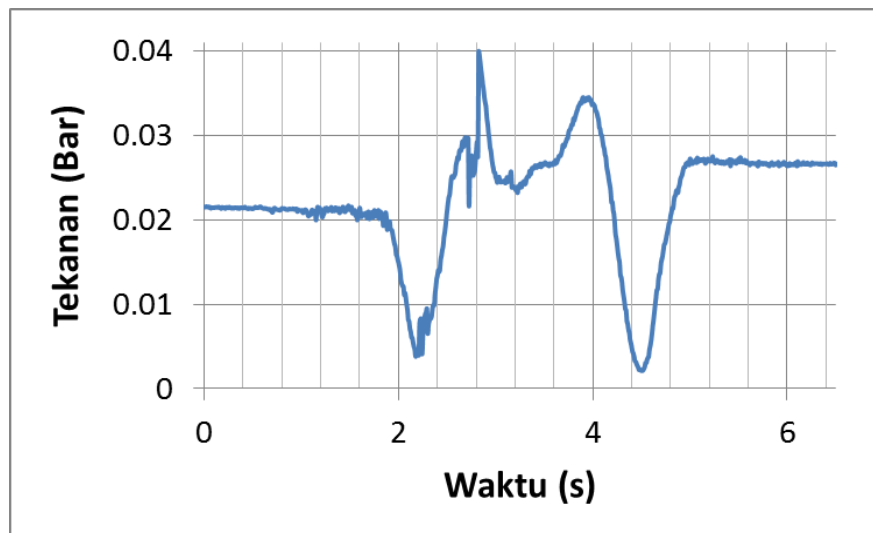
4.2.4. Pengujian Mekanik berdasarkan Sensor

Pengujian sensor dilakukan dengan mencuplik hasil pengukuran keluaran dari penguat instrumentasi. Sensor tekanan (PX005GD) ditempatkan di sebelum penempatan turbin dan sesudah penempatan turbin, dimana berfungsi untuk mendeteksi pengaruh penempatan turbin.

Pengujian dilakukan dengan cara memainkan valve penghubung ke turbin atau dengan kata lain memberikan gangguan pada sistem. Hasil pengujian per sensor ditunjukkan dalam Gambar 4.1., Gambar 4.2, dan Gambar 4.3. Pengujian ini menunjukkan performa sistem uji dan sistem pendukung pengukuran. Pengukuran dilakukan secara terpisah antara sensor tekanan yang satu dengan sensor tekanan yang lain.

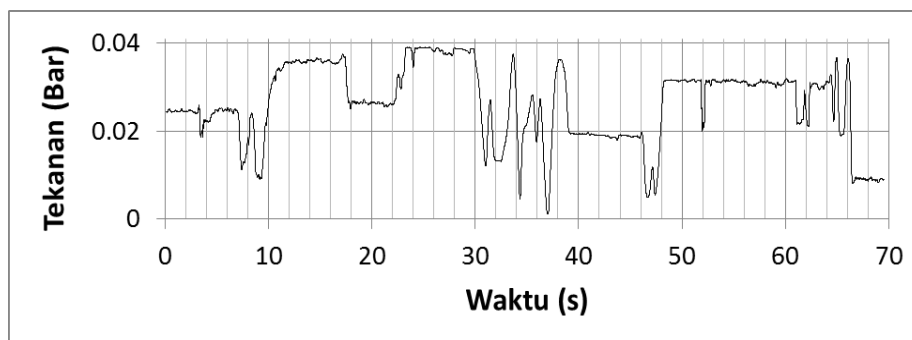


Gambar 4. 3. Keluaran sensor di posisi sebelum penempatan turbin.



Gambar 4. 4. Keluaran sensor di posisi setelah penempatan turbin.

Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 menunjukkan karakteristik sistem saat diberikan gangguan. Gambar 4.1 sistem dikenai gangguan pada detik antara 30 sampai 70 lalu dibiarkan tetap tanpa gangguan hingga detik 170 hingga 210. Sedang Gambar 4.2 menunjukkan gangguan pada detik ke 2 hingga 5. Kestabilan di sisi keluaran sensor setelah penempatan turbin diakibatkan karena pemasangan katup yang mencegah adanya aliran balik, hal ini ditunjukkan setelah detik ke 5 pada Gambar 4.2. Dalam kedua gambar ini juga menunjukkan berkurangnya energi akibat pemasangan turbin sebesar 0.45 volt atau setara dengan 0.0036 Bar, dimana tidak secara signifikan mengurangi tekanan.

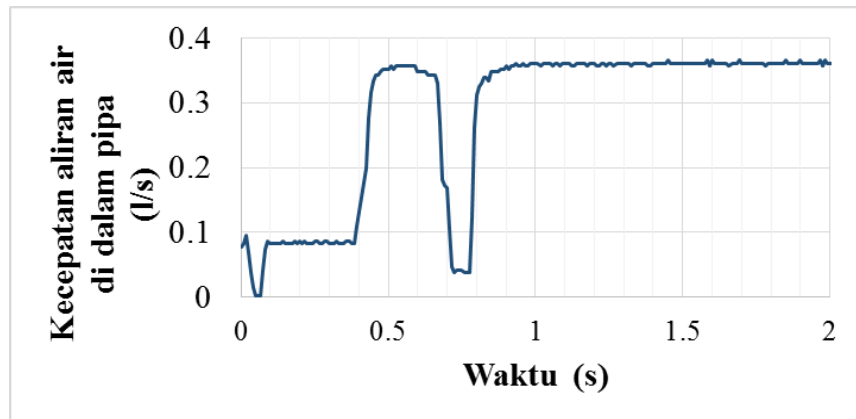


Gambar 4. 7. Keluaran sensor di posisi setelah penempatan turbin.

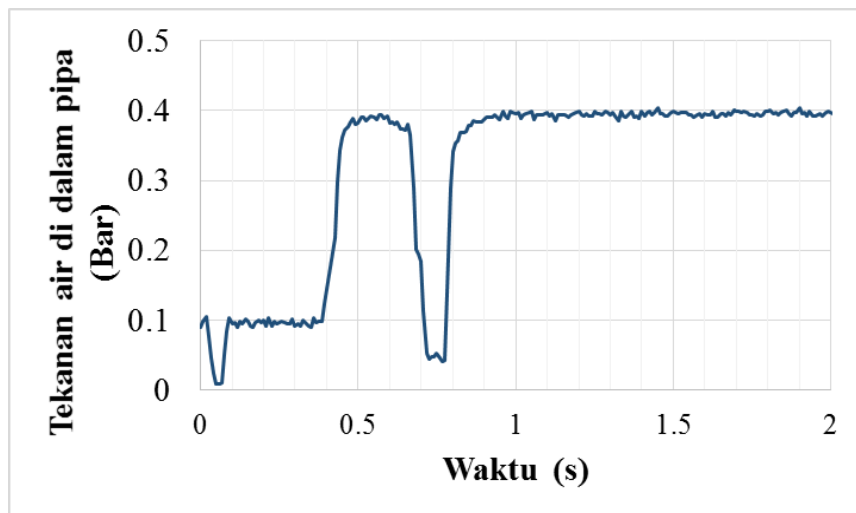
Gambar 4.3 menunjukkan sistem mengalami kebocoran di sisi keluaran yakni pada detik 52, 62 dan terakhir kebocoran besar di detik 66. Fluktuatif di detik yang lain diakibatkan karena permainan valve pada penghubung ke turbin. Sistem sempat mengalami kenaikan tinggi yakni pada detik ke 10 sampai dengan 18 serta 22 sampai dengan 30 dikarenakan dikenai tekanan sebesar 2 bar secara tiba-tiba. Karena kemampuan sensor yang digunakan maksimum sebesar 40 Kpa atau setara 0.04 Bar, maka maksimum terukur di pengujian sebesar 0.04 Bar.

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menggabungkan sistem turbin dengan sistem pendukung turbin. Pengujian dilakukan dengan menutup valve dari setengah hingga terbuka keseluruhan. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan mengubah nilai sudut sudu turbin.

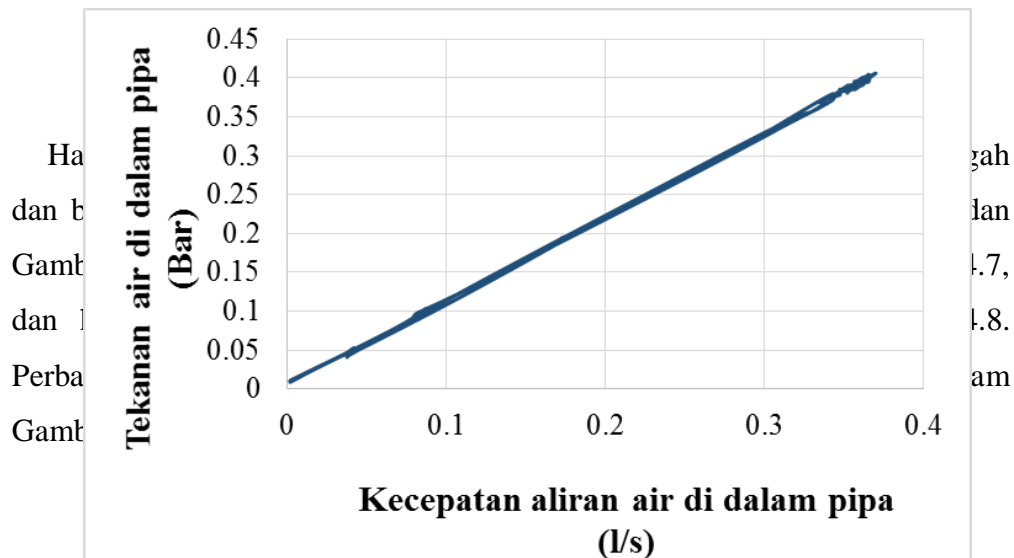
Hasil pengujian dengan sudut sudu sebesar 24° dengan bukaan setengah dan bukaan sepenuhnya ditunjukkan dalam Gambar 4.4., Gambar 4.5, dan Gambar 4.6. Hasil pengukuran sensor flow ditunjukkan dalam Gambar 4.4, dan hasil pengukuran sensor tekanan ditunjukkan dalam Gambar 4.5. Pengukuran ini dilakukan di posisi sebelum penempatan turbin. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan ditunjukkan dalam Gambar 4.6.



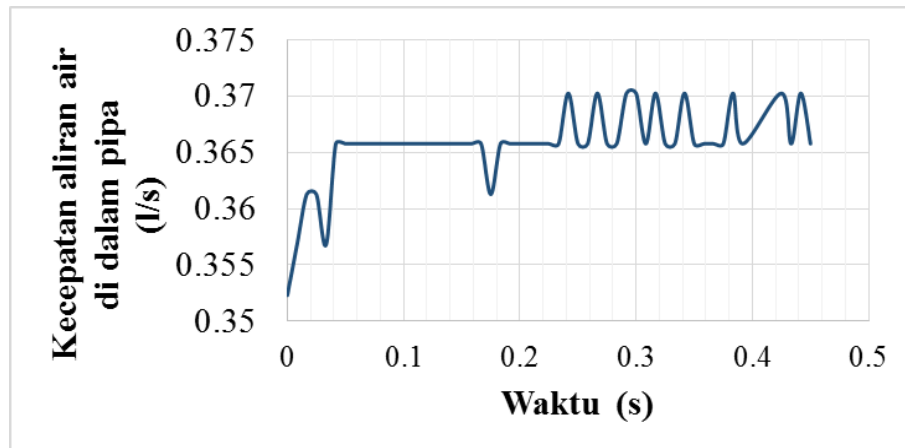
Gambar 4. 9 Hasil keluaran sensor flow.



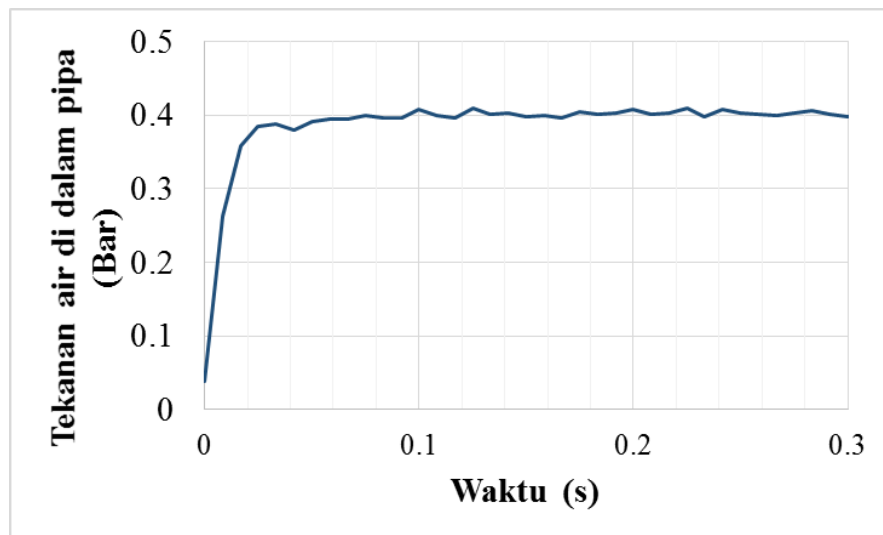
Gambar 4. 10. Hasil keluaran sensor tekanan.



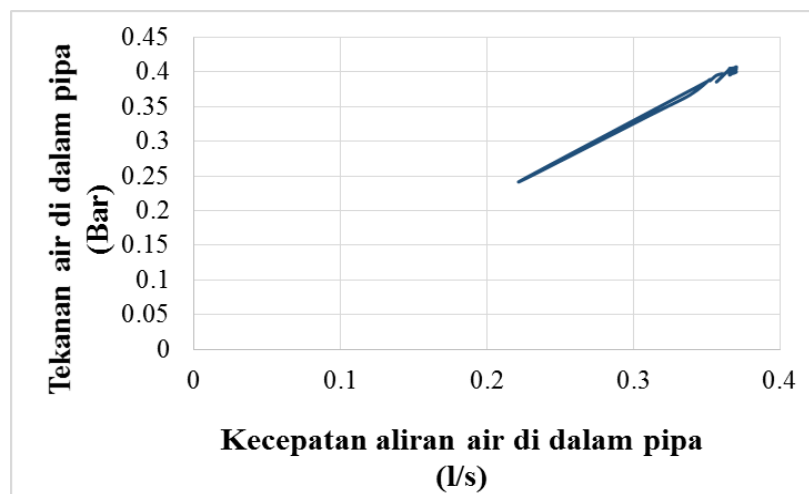
Gambar 4. 11. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan.



Gambar 4. 15. Hasil keluaran sensor flow.

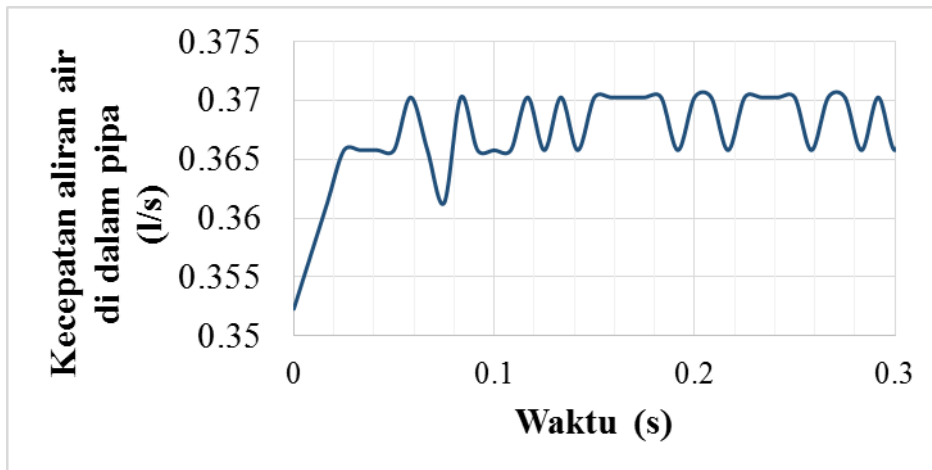


Gambar 4. 17. Hasil keluaran sensor tekanan.

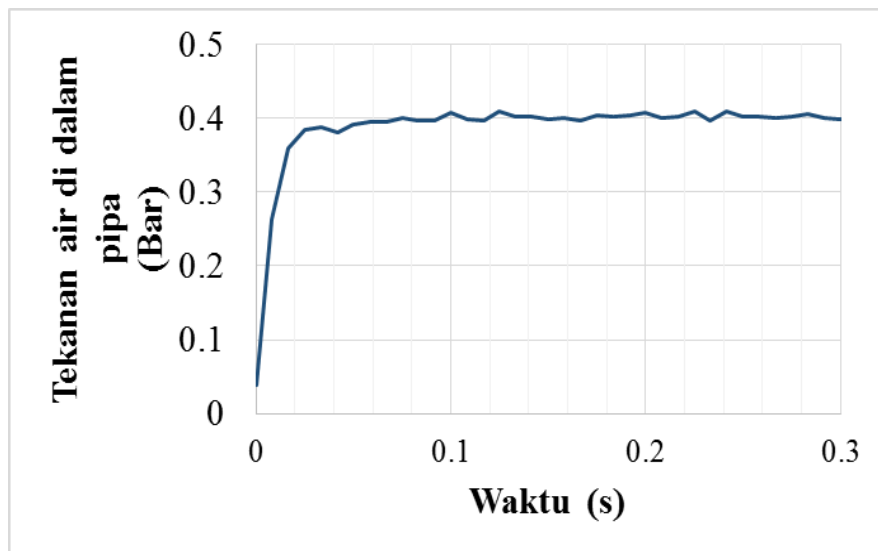


Gambar 4. 19. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan.

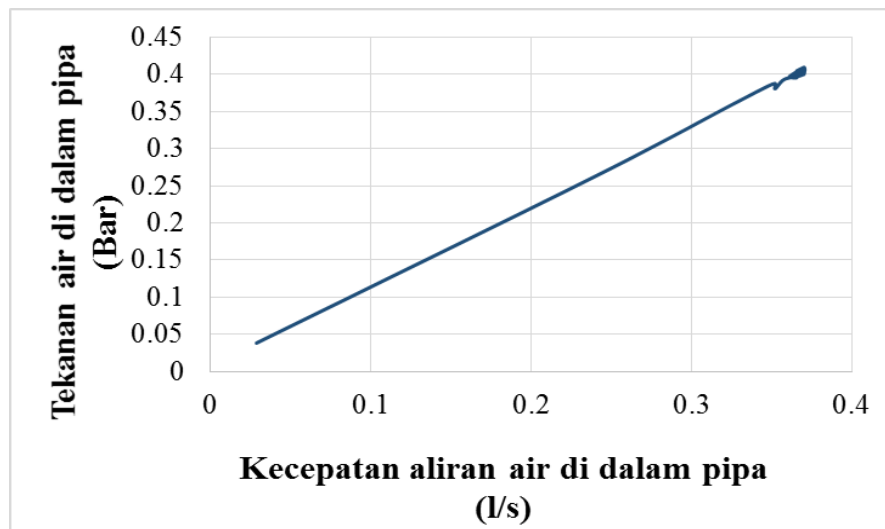
Hasil pengujian dengan sudut sudu sebesar 45° dengan bukaan setengah dan bukaan sepenuhnya ditunjukkan dalam Gambar 4.10., Gambar 4.11, dan Gambar 4.12. Hasil pengukuran sensor flow ditunjukkan dalam Gambar 4.10, dan hasil pengukuran sensor tekanan ditunjukkan dalam Gambar 4.11. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan ditunjukkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 4. 21. Hasil keluaran sensor flow.



Gambar 4. 23. Hasil keluaran sensor tekanan.



Gambar 4. 25. Perbandingan pengukuran sensor flow dan sensor tekanan.

Hasil Pengukuran menunjukkan bahwa aliran air telah menumbuk sudu yang ditunjukkan dengan makin banyaknya riak yang muncul saat penggantian sudu, yang terbaca oleh sensor flow. Gambar 4.4, Gambar 4.7 dan Gambar 4.10 menunjukkan kenaikan riak atau dengan kata lain adanya arus balik tumbukan atau biasa disebut dengan *contra flow* yang terbaca oleh sensor seiring dengan kenaikan sudut sudu. Pada pembacaan sensor tekanan menunjukkan adanya jatuh tekanan sebelum mencapai keadaan mantap, hal ini menunjukkan sistem sedang diisi dengan air, sehingga tekanan menjadi jatuh sesaat

Halaman ini sengaja dikosongkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada pendesainan turbin jenis ini masih mengalami kendala dalam hal literatur sebab masih tergolong jenis turbin yang baru. Namun potensi turbin untuk mampu beradaptasi merupakan faktor penting dari turbin ini. Dimana dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan dan saran yang dijelaskan di bagian bawah.

5.1 Kesimpulan

. Dalam rancang bangun sistem ini memiliki kendala kebuntuan dalam perealisasi sistem secara nyata, namun berhasil dalam tahap simulasi dalam matlab. Dimana dalam tahap simulasi, turbin menunjukkan keterpengaruhannya terhadap tekanan dan debit yang dikenainya. Sehingga diperlukan suatu sudut yang berubah – ubah besar sudutnya. Dari tahap simulasi ini juga menunjukkan karakteristik turbin pada sudut sudut tertentu yang dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam merealisasi turbin. Uji sensor mendapatkan bahwa penempatan turbin tidak begitu mengurangi nilai tekanan pada sistem karena sistem hanya mengurangi tekanan sebesar 0.0036 Bar. Diketahui pula bahwa bertambahnya sudut sudu, tekanan aliran air sesaat makin besar juga.

5.2 Saran

Turbin screw pada studi ini menghasilkan beberapa sudut yang perlu dipertimbangkan untuk digunakan sebagai turbin, karena pada sudut tertentu turbin tidak menghasilkan tegangan melainkan menjadi beban yang menyerap energi listrik. Perealisasi turbin membutuhkan studi yang lebih lanjut untuk kesempurnaan *non fix blade angle turbine screw*.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Havendri, A. dan Lius, H. (2009), “Perancangan Dan Realisasi Model Prototipe Turbin Air Type Schrew (Archimedean Turbine) Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Head Rendah di Indonesia”, *TeknikA*, Vol. 2, No. 31.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Francis_turbine. (2016, 05 31). Retrieved 06 13, 2016.
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Kaplan_turbine. (2016, 04 16). Retrieved 06 13, 2016
4. http://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine_Pelton. (2016, 06 06). Retrieved 06 13, 2016
5. Liu, P. (2010), “A Computational hydrodynamics method for horizontal Axis Turbine – Panel Method Modelling Migration from Propulsion to Turbine Energy”, *ELSEVIER Energy*, Vol. 35, hal. 2843 – 2851.
6. Viscuso, G.T. (2011), *Investigation of How Angle of Attack Affects Rotor Speed In Wind Turbines*, Tesis Magister, University of California Santa Cruz, California.
7. Mustain, M. (2011), *Mekanika Fluida*, Surabaya: ITS PRESS.
8. M. Shahsavarifard, E. L. Bibeau, V. Chatoorgoon. (2015), *Effect of shroud on the performance of horizontal axis hydrokinetic turbines.*, *Ocean Eng.*, Vol. 96, hal. 215-225.
9. Ravens T., Cunningham K, Scott G. *Assesment and mapping of riverine hydrokinetic resource in the continental United States*. Palo Alto : CA : Electric Power Research Institute, 2012.
10. W.C. Schleicher, J. R. (2015). Numerical characterization of a preliminary portable micro hydrokinetic turbine rotor design. *Renewable Energy* 76, 234-241.
11. Louie, H. (2012), “Evaluating Archimedean Copula Models of Winds Speed for Wind Power Modeling”, *IEEE PES Power Africa 2012 Conference and Exhibition Johannesburg*, hal.1-5.

Halaman ini sengaja dikosongkan.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Dwi Oktavianto Wahyu Nugroho di Malang 8 Oktober 1983. Merupakan anak ketujuh dari tujuh bersaudara pasangan Bapak Drs. H. L. Winarno A. W. dan Ibu Hj. Sutjiasri. Penulis memulai pendidikan di SDN Kasatrian 06 Malang, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 3 Malang. Setelah lulus pendidikan tahun 1999, penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 04 Malang. Tahun 2002 penulis lulus dan melanjutkan pendidikan S1 di Universitas Brawijaya Malang di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik. Penulis menyelesaikan studi tahun 2009, yang kemudian penulis bekerja di PU Cipta Karya Wiyung sampai tahun 2010. Tahun 2010 penulis mulai bekerja di PDAM Sidoarjo hingga sekarang. Tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan Program Magister Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dengan bidang keahlian Teknik Elektronika. Pada tahun 2016 tepatnya pada tanggal 24 juli 2016 penulis menikah dengan wanita bernama Nada Fitrieyatul Hikmah. Dan setelah menjalani pendidikan penulis ahirnya menyelesaikan pendidikan Magister pada tahun 2016.

Email : Dwi.Oktavianto.Wahyu.N.11@mhs.ee.its.ac.id, Goldcells@gmail.com